

PRIMER REPORTE ACADÉMICO DE CAMBIO CLIMÁTICO DE VENEZUELA (PRACC)

ACFIMAN-SACC



Embajada Británica
Caracas



ACADEMIA DE CIENCIAS
FÍSICAS, MATEMÁTICAS
Y NATURALES

PRACC

PRIMER REPORTE ACADÉMICO DE CAMBIO CLIMÁTICO DE VENEZUELA (PRACC)

Contribución de los Grupos de Trabajo I, II y III al Primer Reporte Académico de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales (ACFIMAN).

Editado por

Alicia Villamizar

Grupo de Trabajo II

Secretaría Académica de Cambio Climático-ACFIMAN

Eduardo Buroz Castillo

Grupo de Trabajo II

Secretaría Académica de Cambio Climático-ACFIMAN

Rafael Lairer Centeno

Grupo de Trabajo III

Secretaría Académica de Cambio Climático-ACFIMAN

Jesús Augusto Gómez

Grupo de Trabajo I

Secretaría Académica de Cambio Climático-ACFIMAN

Betina Ayala

Yaranelly Méndez

Laxmi Rodríguez



Título:

PRIMER REPORTE ACADÉMICO DE CAMBIO CLIMÁTICO DE VENEZUELA (PRACC)
ACFIMAN-SACC

Portada:

Planta Centro

Fotografía © Eduardo González @eduardogphotos eduardogonzalezperez@gmail.com

Depósito legal:

DC2018000406

ISBN:

978-980-6195-56-1

EDICIONES:

ACFIMAN-CITECI

Coordinadores Generales:

Alicia Villamizar,
Antonio Machado-Allison,
Eduardo Buroz Castillo,
Rafael Lairer Centeno
Jesús Augusto Gómez

Coordinación de edición:

Paolo Maragno

Diseño gráfico:

Marisa Almiñana M.

Revisión de edición:

Marianela Lafuente

Diagramación:

Paolo Maragno

Esta publicación no puede ser comercializada. Es de público acceso y libre utilización.

Este reporte debe ser citado de la siguiente manera:

ACFIMAN-SACC, 2018: "Primer Reporte Académico de Cambio Climático 2018: Contribución de los Grupos de Trabajo I, II y III al Primer Reporte Académico de Cambio Climático (PRACC) de la Secretaría Académica de Cambio Climático (SACC) de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales (ACFIMAN) de Venezuela". [Villamizar, A., E. Buroz Castillo, R. Lairer Centeno, & J. A. Gómez (Eds.)]. EDICIONES ACFIMAN – CITECI, CARACAS.

DESCARGO DE RESPONSABILIDADES

El contenido de este informe no refleja necesariamente los puntos de vista o políticas de la ACFIMAN-SACC, Centro CITECI o de las organizaciones contribuyentes. Las designaciones empleadas y la presentación del material no implican la expresión de ninguna opinión por parte de la ACFIMAN-SACC, Centro CITECI u organizaciones colaboradoras sobre el estado legal de ningún país, territorio o ciudad o sus autoridades, ni sobre la delimitación de sus fronteras o límites. Si bien se han realizado esfuerzos razonables para garantizar que el contenido de esta publicación sea objetivamente correcto y se mencione correctamente, la ACFIMAN-SACC, Centro CITECI no aceptan responsabilidad por la exactitud o integridad de los contenidos, y no serán responsables de ninguna pérdida o daño que pueda ocasionarse directamente o indirectamente mediante el uso de, o la confianza en, los contenidos de esta publicación.

Reconocemos en todo momento la legítima defensa de los derechos de autor y declaramos que hemos hecho las diligencias necesarias para solicitar los permisos requeridos, por lo que ofrecemos a los propietarios de las imágenes utilizadas en nuestra publicación, la posibilidad de comunicarse de manera directa con nosotros y notificar sobre cualquier contenido que pudiese estar infringiendo su derecho, para que sea dado de baja en la publicación.

© 2018 Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales – Centro CITECI

Todos los derechos reservados

www.citeci.com

Coordinación y temática

COORDINADORES GENERALES

Alicia Villamizar^{1,2}
Antonio Machado-Allison¹
Alicia Villamizar^{1,2}
Eduardo Buroz Castillo^{1,3,4}
Rafael Lairet Centeno^{1,2,3}
Jesús Augusto Gómez^{1,3}

GRUPO DE TRABAJO I (GTI) BASES CIENTÍFICAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

COORDINADOR

Jesús Augusto Gómez

CAPÍTULOS

MODELAJE Y ESTADÍSTICA

Isabel Llatas, Andrés M. Sajo-Castelli, Luis Araya, Rafael Lairet Centeno, Pedro Ovalles, Desiree Villalta, Lelys Bravo

EVALUACIÓN DE LOS MODELOS CLIMÁTICOS DEL IPCC AR5 PARA VENEZUELA

Jesús Augusto Gómez, José Miguel Pérez Godoy

SISTEMAS OCEÁNICOS

Franklin Paredes-Trejo

ECOSISTEMAS TERRESTRES Y BIODIVERSIDAD

Alejandra Leal, Jorge Paolini-Ruíz, Ingrid Acevedo, Bibiana Bilbao, Maribel Colmenares-Arteaga, Jorge Contreras, †Manuel Henríquez, Wilmer Hernández, Betty Mendoza, José Pastor Mogollón, Julián Mostacero, Shingo Nozawa, Erika Pedraza, Gabriel Picón, Wilder Rivas, Roberto Rivera-Lombardi, María Rondón, Dirk Thielen, Duilio Torres, Fernando Sánchez Orellana, Eduardo Zambrano

ECOSISTEMAS MARINO-COSTEROS

Aldo Cróquer, Estrella Villamizar, María Beatriz Barreto, Sandra Giner, Hedelvy Guada, Rubén Torres, Anaurora Yranzo

ÁREAS PROTEGIDAS

Edgard Yerena, Shaenandhoa García-Rangel, Vilisa Morón

¹ Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales (ACFIMAN)

² Universidad Simón Bolívar (USB)

³ Academia Nacional de Ingeniería y el Hábitat (ANIH)

⁴ Universidad Católica Andrés Bello (UCAB)

GRUPO DE TRABAJO II (GTII)

IMPACTOS, VULNERABILIDAD Y ADAPTACIÓN

COORDINADORES

Alicia Villamizar y Eduardo Buroz Castillo

CAPÍTULOS

AGRICULTURA

Marelia Puche, Eladys Córcega P., Víctor García G., Mercedes Pérez M.

SALUD HUMANA Y DE ECOSISTEMAS

Laura Delgado, Ana Carvajal, Karenia Córdova, María Eugenia Grillet

ÁREAS URBANAS Y TRANSPORTE

Roger Martínez, Zulma Bolívar, Antonio De Lisio, Loraine Giraud, Luisa Páez, Isandra Villegas

INSTITUCIONALIDAD EN CAMBIO CLIMÁTICO

Alicia Villamizar, María Eugenia Gutiérrez

EDUCACIÓN AMBIENTAL Y CAMBIO CLIMÁTICO

Nila Pellegrini, Alejandro Álvarez

GRUPO DE TRABAJO III (GTIII)

MITIGACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN VENEZUELA

COORDINADOR

Rafael Lairer Centeno

Rafael Lairer Centeno, Vilisa Morón, Rafael Rebolledo, Davna Rodríguez, Juan Carlos Sánchez, María Figueroa

Instituciones participantes

ACFIMAN: Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales

- SACC. Secretaría Académica de Cambio Climático

ANIH: Academia Nacional de Ingeniería y Hábitat

Coalición Clima21

Departamento de Política y Negocios, Escuela de Negocios, Copenhagen, Denmark.

FIBV: Fundación Instituto Botánico de Venezuela Dr. Tobías Lasser

FIIDT: Fundación Instituto de Ingeniería para Investigación y Desarrollo Tecnológico

IA HUC: Instituto Autónomo Hospital Universitario de Caracas

IMUTC: Instituto Metropolitano de Urbanismo – Taller Caracas

INIA: Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas

IVIC: Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas

- Centro de Ecología

NAG: Numerical Algorithms Group, Reino Unido

UC: Universidad de Carabobo

UCAB: Universidad Católica Andrés Bello

- Dirección de Sustentabilidad Ambiental

UCLA: Universidad Lisandro Alvarado

- Departamento de Química y Suelos

UCV: Universidad Central de Venezuela

- Centro de Estudios del Desarrollo (CENDES)
- Facultad de Agronomía (FAGROUCV)
 - Departamento de Botánica Agrícola
 - Instituto de Ingeniería Agrícola
- Facultad de Ciencias, Instituto de Zoología y Ecología Tropical (IZET)
- Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil, Departamento de Ingeniería Sanitaria
- Facultad de Humanidades y Educación, Instituto de Geografía

UDO: Universidad de Oriente

ULA: Universidad de Los Andes

UMNG: Universidad Militar Nueva Granada (Colombia)

- Facultad de Ingeniería Civil

UNEFM: Universidad Francisco de Miranda

- Departamento de Ambiente y Tecnología Agrícola

UNELLEZ: Universidad Experimental de los Llanos Ezequiel Zamora

- Departamento de Ingeniería Civil

UNESR: Universidad Nacional Experimental Simón Rodríguez

- Instituto de Estudios Científicos y Tecnológicos

UPEL: Universidad Pedagógica Experimental Libertador.

USB: Universidad Simón Bolívar

- Departamento de Biología de Organismos
- Departamento de Cómputo Científico
- Departamento de Estudios Ambientales
- Departamento de Planificación Urbana
- Departamento de Tecnología Industrial
- Instituto de Estudios Regionales Urbanos

Agradecimientos

El PRACC fue posible gracias al compromiso y voluntario trabajo de un gran número de científicos venezolanos. Queremos expresar nuestra gratitud a todos los coordinadores líderes, autores líderes, autores contribuyentes y autores revisores.

El grupo de autores del PRACC representa una parte significativa de la comunidad científica y técnica nacional. En la elaboración del Reporte contribuyeron

- científicos que condujeron las investigaciones y que escribieron artículos científicos;
- científicos que revisaron de forma exhaustiva las bases de datos disponibles, que consultaron a otros colegas, indagando acerca de más producción científica y técnica que pudiera ser incorporada al reporte;
- técnicos conocedores de la producción de documentación oficial interesados en darla a conocer;
- investigadores que trabajan en organizaciones de la sociedad civil y
- autores revisores expertos en el tema de cambio climático

A todos ellos que con su experiencia y orientación dieron vida al equipo de 67 autores, provenientes de más de 20 instituciones y organizaciones nacionales y que conformaron los tres Grupos de Trabajo (GT) de coordinadores, autores líderes, autores contribuyentes y autores revisores, le expresamos nuestro efusivo agradecimiento.

El grupo de autores PRACC, junto al trabajo experimentado y dedicado de un talentoso equipo de apoyo técnico, demostraron un compromiso inspirador con la calidad y el servicio público.

La Dra. Gioconda San Blas, actual presidenta de la ACFIMAN nos brindó su confianza y apoyo a lo largo de todo el proceso de investigación y redacción del documento. Expresamos de forma especial nuestro agradecimiento al Dr. Claudio Bifano, expresidente de la ACFIMAN, quien fue, y sigue siendo, un entusiasta sostén y motivador de esta iniciativa que tomó vuelo en el año 2014.

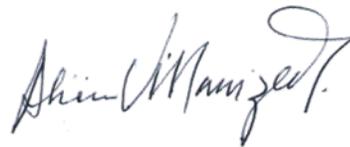
También queremos agradecer al equipo de apoyo técnico y a la secretaría de la ACFIMAN por su dedicación en organizar la producción de este reporte.

Queremos también agradecer la orientación y el consejo recibidos de muchos colegas de nuestras academias hermanas, de colegas de nuestras respectivas Alma Mater, y particularmente, de los Autores que elaboraron el PRACC, quienes confiaron en nuestra conducción y que con paciencia – sobre todo mucha paciencia- y gran vocación de servicio, se mantuvieron activos hasta culminar este Primer Reporte Académico de Cambio Climático. Desde ya los invitamos a seguir acompañándonos para conducir el Segundo Reporte Académico de Cambio Climático de nuestro país.

Antonio Machado-Allison

Handwritten signature of Antonio Machado-Allison in black ink, featuring a stylized 'A' and 'M'.

Alicia Villamizar

Handwritten signature of Alicia Villamizar in black ink, with a cursive style.

Eduardo Buroz Castillo

Handwritten signature of Eduardo Buroz Castillo in black ink, with a cursive style.

Rafael Lairer Centeno

Handwritten signature of Rafael Lairer Centeno in black ink, with a cursive style.

José Augusto Gómez

Handwritten signature of José Augusto Gómez in black ink, with a cursive style.

Queremos expresar nuestro agradecimiento especial al valioso apoyo de la Embajada Británica en Venezuela, quien con su confianza en esta iniciativa académica nos brindó la oportunidad de finalizarla a través del proyecto *Production and dissemination of the first Climate Change Report by the Venezuelan Academy of Science (1VARCC), as an input for a climate change law and the adaptation and mitigation plan*, auspiciado por la Secretaría de Estado para Asuntos Externos y de Bienestar Común del Reino Unido, representado por el Excelentísimo Embajador Señor John Saville, con el apoyo entusiasta de la Lic. Simonetta Spavieri, Oficial a cargo del proyecto.

ACFIMAN-SACC

Presentación de Antonio Machado-Allison

La Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales de Venezuela (ACFIMAN) es una corporación pública cuyo objeto incluye el asesorar al Estado en los temas de su competencia, en el desarrollo de la investigación científica, la educación y la formación de capacidades profesionales necesarias para el desarrollo del país. Para lograrlo, la Academia se ha convertido en una plataforma para el lanzamiento de todas aquellas ideas, proyectos y programas que permitan cumplir su objeto y ser reconocida tanto por entes públicos como privados de su rol en la sociedad.

En este sentido, la Academia recibe en el año 2012, la solicitud de incorporar a un grupo de investigadores de varias universidades y centros de investigación para formar un grupo de trabajo dedicado al problema del Cambio Climático. Así, se crea la Secretaría Académica de Cambio Climático (SACC) que tuvo, como propósito inicial, la organización y ejecución del Primer Simposio de Cambio Climático desarrollado en la Facultad de Ciencias de la Universidad Central de Venezuela, en el mes de noviembre del 2013, en Caracas. El Simposio cumplió con su premisa de comunicar a la sociedad el estado de las investigaciones y acciones que se desarrollan a nivel nacional para conocer los impactos del cambio climático en Venezuela. Además, identificar las acciones de mitigación y adaptación que se han implementado en el país en las áreas correspondientes a los ciclos biogeoquímicos, energía, biodiversidad, seguridad alimentaria y salud. El simposio concluye con la firma de un compromiso denominado “Declaración de Caracas” (Anexo 1) cuyo propósito, entre otros, es la de promover dentro de la comunidad científica el constituir un equipo de investigadores dedicados a elaborar el Primer Reporte Académico de Cambio Climático, con un alcance temporal 2005-2017, tomando como criterio los establecidos por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) para sus reportes de evaluación.

Más tarde se lleva a cabo con suma satisfacción, no obstante las preocupaciones, obstáculos, frustraciones y aciertos que aquejan a las instituciones universitarias y centros de investigación del país, el II simposio de Cambio Climático bajo la premisa de “Ciencia y Gestión: desafíos ante los cambios globales”, realizado en la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Los Andes (Mérida) en Diciembre 2016 bajo la coordinación del Centro Interamericano de Investigación en Ambiente y Tierras (CIDIAT) y la

ACFIMAN, oportunidad en la cual se presentan públicamente los avances del Primer Reporte Académico de Cambio Climático de la academia. El simposio concluye con la Declaración de Mérida (Anexo 2).

Es ahora, durante un tránsito de cuatro años por este camino lleno de incertidumbres, pero con un gran compromiso nacional, que después de una recopilación y evaluación rigurosa por parte de investigadores del país, de la producción científica y técnica nacional sobre el tema de cambio climático, se presenta al público el Primer Reporte Académico de Cambio Climático que esperamos sea la plataforma y marco referencial para comprometer una labor necesaria y continuada en el futuro, sobre este tema estratégico nacional.

Damos públicamente las gracias y reconocimiento a un gran número de investigadores que actuaron como autores líderes y coordinadores de áreas, así como a personal de apoyo, por el feliz término de este compromiso, el cual representa el inicio de futuras contribuciones periódicas al conocimiento científico y técnico del cambio climático a escala nacional. Los invitamos a sumarse a ese compromiso para la realización, en un futuro cercano, del segundo reporte como parte de las actividades promotoras del III Simposio de Cambio Climático, a realizarse en la ciudad de Barquisimeto, estado Lara, a finales del 2018, en la Universidad Centro Occidental Lisandro Alvarado (UCLA), cuyo tema estará dedicado a las incidencias del cambio climático en la agricultura del país.

Antonio Machado-Allison

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Machado', with a stylized flourish underneath.

- Individuo de Número de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales (ACFIMAN)
- Presidente de la Secretaría Académica de Cambio Climático-ACFIMAN

Presentación de Claudio Bifano

El primer reporte académico de cambio climático de Venezuela.
El resultado de un trabajo bien hecho.

La importancia de este libro va más allá del excelente contenido de sus páginas. Es el primer documento público de una Institución del país que analiza los problemas que el cambio climático ha producido y puede seguir produciendo en Venezuela y presenta a la comunidad internacional evidencias de los efectos presentes del cambio climático en el país y el de su impacto en las actividades socioeconómicas, medios de vida y bienestar en general de la sociedad venezolana.

Pensamos que es una obra muy valiosa para el país y por eso es conveniente dejar constancia de los pasos que permitieron alcanzar este primer logro.

El libro es producto del esfuerzo concertado de un grupo de profesionales de universidades y centros de investigación del país, dedicados al estudio de los efectos que producen las actividades humanas en el ambiente y las consecuencias globales del Cambio Climático, convocados por la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales para tal fin.

No es obra del azar que haya sido la Academia la institución que se ha interesado y ha respaldado el estudio de este tema. En efecto, el interés de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales por el ambiente se remonta ya a varias décadas y se mantiene a través de una serie de programas que adelanta la Fundación para el Progreso de la Ciencia FUDECI. Tal como lo recuerda el Dr. Antonio Machado-Allison, el inicio de las actividades de investigación de la Fundación lo marcan expediciones al Cerro La Neblina, a la Península de Paria a la Serranía de Tapirapecó y a la Serranía de Guaquinima, llevadas a cabo en la década de los años ochenta del siglo pasado en las que participaron “más de un centenar de investigadores nacionales e internacionales de las universidades Central de Venezuela y Simón Bolívar, del Instituto Botánico de Venezuela, del Smithsonian Institution, Field Museum of Natural History, Botanical Gardens, American Museum of Natural History, Kew Gardens y la Royal Geographical Society, para explorar riquezas naturales de zonas aún poco estudiadas.

Este interés, tal vez influyó para que las primeras reuniones de la Comisión Nacional del Programa Internacional de la Geósfera-Biósfera- IGBP patrocinado

por el Consejo Internacional de Uniones Científicas, ICSU, se llevaran a cabo en su sede a finales de la década de los años noventa, bajo la coordinación del Dr. Federico Pannier y el patrocinio del Consejo de Investigaciones Científicas y Tecnológicas CONICIT. En ese tiempo comenzaba a conformarse una red de científicos de todo el mundo para realizar investigaciones interdisciplinarias sobre Cambios Globales y sobre el Sistema Terrestre con el objetivo de dar respuestas a las alteraciones ambientales que se hacían visibles en el Planeta y Venezuela, a través de su organismo de CyT y de la Academia, instituciones que habían respondido a este importante llamado internacional.

A finales de 2011 se acercaron a la Academia las profesoras Lelys Bravo y Alicia Villamizar, de la Universidad Simón Bolívar, preocupadas porque en Venezuela, aún siendo un país petrolero en vías de desarrollo, había poca información organizada en materia de cambio climático, a pesar de ser éste una de las mayores amenazas que enfrenta la humanidad, y a sabiendas de que los riesgos que encierra hay que gestionarlos con el concurso de actores públicos y privados.

Ante la tímida respuesta recibida por parte de los organismos gubernamentales relacionadas con el ambiente a los que habían acudido, las profesoras plantearon a la Academia la urgencia de reunir a los investigadores que trabajaban en distintas instituciones del país, públicas y privadas, a fin de conocer cuánto y qué se había hecho y se hacía en el país en esa materia. Además del interés puramente científico del tema, les preocupaba que el país no estuviera respondiendo oportunamente a los compromisos suscritos en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CCMNUCC), relativos a la elaboración periódica de reportes de cambio climático a nivel nacional. La preocupación de las profesoras motivó a que un grupo de académicos, que veían los temas ambientales no como asuntos periféricos que ejercen un impacto externo en las sociedades, sino como asuntos interrelacionados con crisis, riesgos y vulnerabilidades a las que se enfrentan las sociedades actualmente, acogieran con interés la solicitud de apoyo presentada a la Academia.

Se hacía urgente contar con un grupo de expertos en condiciones de analizar conocimientos científicos, técnicos y socioeconómicos sobre el cambio climático, sus causas, posibles repercusiones y las estrategias de respuesta.

Para tal fin la Academia creó el Comité de Asesoría Técnica en Ambiente, que rápidamente se convirtió en un grupo de trabajo muy activo y productivo.

Se planteó la conveniencia de realizar un Simposio Nacional sobre Cambio Climático y en 2013 la profesora Bravo elaboró la propuesta “Adaptation to Global Change. Portfolio of Projects” que fue financiada por la National Academy of Science de los EEUU, y permitió que ese mismo año se celebrara en Caracas el Primer Simposio Nacional Sobre Cambio Climático: Perspectivas para Venezuela, al cual concurren “numerosos miembros activos de la comunidad científica nacional que desde la óptica de diversas áreas del conocimiento y disciplinas, atienden múltiples temas inherentes al cambio climático”.

En ese Simposio se firmó, además, la “Declaración de Caracas”, que, entre otros aspectos, recalca la importancia de que “El Cambio Climático sea considerado sujeto de política pública a razón de constituir un conjunto de problemas que atañen y afectan directamente, no solo a la seguridad y a la salud de todos los venezolanos, sino la de nuestros ecosistemas y la de los sectores productivos del país”, y se exhorta a que “Los compromisos país derivados de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, sean cumplidos a cabalidad por el gobierno nacional, en respuesta a los más altos intereses de seguridad de la Nación”.

El Comité de Asesoría Técnica en Ambiente siguió trabajando con gran dedicación y competencia, acordando en el año 2014, la conformación de la Secretaría Académica de Cambio Climático SACC, con el objetivo de atender de forma permanente este problema, dando así continuidad y seguimiento a las actividades de carácter académico vinculadas al tema, propuestas en el seno del comité, de las universidades, centros de investigación, organizaciones de la sociedad civil, instituciones de gobierno y empresas privadas, a escala nacional.

En 2015 también salió a la luz un importante libro titulado “Desarrollo de los estudios ambientales en Venezuela 2000-2012”, coordinado por los académicos Antonio Machado-Allison y Eduardo Buroz Castillo, que recoge aspectos muy importantes de la actividad académica en el área ambiental. Resalta el trabajo de las universidades y centros de investigación, los planes de estudio a nivel de pre y postgrado en universidades de todo el país, las líneas de investigación y desarrollo en ciencias ambientales que le han dado sustento y, las mayores contribuciones de las organizaciones ambientalistas de la sociedad civil. En 2016, se organizó, en conjunto con la Universidad de Los Andes, el II Simposio Venezolano sobre Cambio Climático. Bajo el lema “Ciencia y gestión; desafíos ante los cambios globales” se discutió sobre “...las relaciones entre la ciencia y la política con el cambio climático y su integración en los procesos de toma de

decisión pública y privada en nuestro país....orientado a la generación de propuestas que permitan alcanzar soluciones para esta problemática”, dando así continuidad al cumplimiento de los acuerdos importantes de la Declaración de Caracas.

Me ha parecido conveniente y útil reseñar, a grandes rasgos, el trabajo del Comité de Asesoría Técnica en Ambiente y el de la SACC, que ha sentado las bases para la elaboración de este Primer Reporte Académico de Cambio Climático de Venezuela. Un trabajo que no es producto de la improvisación, sino de una labor sistemática y organizada de un grupo de los mejores investigadores venezolanos del área, desarrollado de forma rigurosa durante los últimos 4 años.

Hace pocos meses, en las VI Jornadas Ambientales que se realizaron en la Universidad Católica Andrés Bello, la profesora Alicia Villamizar aseveró que “Venezuela tiene que actuar ya contra el cambio climático”. Este Reporte provee importantes insumos para acometer este reto y, además, para presentar a la comunidad internacional un documento a la altura de lo que nuestra comunidad científica está en capacidad de hacer.

Claudio Bifano

- Individuo de Número de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales (ACFIMAN)

Prólogo

La contribución del “Primer Reporte Académico de Cambio Climático” (PRACC) de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales del país está referida a la ciencia, los impactos, la vulnerabilidad, la adaptación y la mitigación del cambio climático en Venezuela. Provee una visión actualizada y comprehensiva del estado actual del conocimiento en el país, basada en literatura disponible de carácter científico, técnico y socio-económico referida a Venezuela, fundamentalmente a partir del año 2005, año en que fue publicada la Primera Comunicación Nacional de Cambio Climático (PCNCC) del país, documento que representaba las condiciones nacionales frente al cambio climático para ese momento. El PRACC es el resultado de un proceso de evaluación diseñado para resaltar, tanto mensajes de gran visión, como detalles clave para integrar el conocimiento de varias disciplinas, para evaluar la robustez de la evidencia tras los hallazgos presentados por los autores y para identificar tópicos donde el conocimiento es incompleto, no existe, o no está disponible. El objetivo del reporte es proveer información de soporte a buenas decisiones, en todos los niveles de la sociedad venezolana. El reporte es una fuente única de contexto para apoyo de decisiones, sin pretender defender opciones de particulares. El reporte puede proveer de forma precisa, información robusta, actualizada y pertinente ante los recientes compromisos país con la Convención Marco de las Naciones Unidas en Cambio Climático (CMNUCC), derivados del Acuerdo de París ratificado por Venezuela en noviembre del año 2016. Estos compromisos demandan al gobierno nacional, a la empresa privada y a la sociedad organizada del país, la adopción e implementación de políticas que den respuestas a los desafíos del cambio climático para Venezuela. De forma más concreta, el PRACC puede ser un apoyo para las decisiones que el país deberá tomar vinculadas con su “Contribución Nacional Determinada para la lucha contra el cambio climático y sus efectos” (NDC por sus siglas en inglés) – entregada a la Secretaría de la CMNUCC en julio 2017- cuyos avances deberá presentar cada cinco años a la comunidad internacional hasta el 2030.

Alcance del Reporte

El PRACC abarca un amplio rango de tópicos. Las nuevas evidencias recabadas sobre los efectos del cambio climático para Venezuela, resaltan la importancia de comprender, no sólo los impactos directos, sino además, los impactos indirectos,

incluyendo impactos que pueden trascender a otros sistemas naturales o construidos. Esto es así, dadas las múltiples interconexiones del sistema climático que hacen imposible establecer un límite respecto a los impactos, la vulnerabilidad, la adaptación y la mitigación a la hora de atribuir directa o indirectamente la incidencia del cambio climático en las respuestas de los sistemas afectados. El PRACC no pretende señalar esos límites. En lugar de ello, procura señalar elementos críticos e identificar puntos de conexión donde el aspecto de cambio climático se superpone con, o emerge de, otros aspectos (por ejemplo, sistemas naturales y construidos).

El trabajo realizado por los autores, además de presentar de forma sistematizada el análisis de la información recabada a partir de la literatura científica y técnica disponible, relacionada con cambio climático y desarrollada para abordar las incidencias del cambio climático específicamente en Venezuela, también proporciona un conjunto de recomendaciones relevantes para tomadores de decisiones en torno al tema de cambio climático, desarrollado para los temas que constituyen el PRACC.

Estructura del Reporte

El Primer Reporte Académico de Cambio Climático de la ACFIMAN consiste de doce capítulos temáticos, un Resumen para Responsables de Políticas (RRP) y dos anexos. Conceptualmente, hay algunas superposiciones entre los capítulos, pero su contenido hace cada capítulo relevante para los interesados en cada tema.

Los doce capítulos están agrupados en tres Grupos de Trabajo (GT): Grupo de Trabajo I (GTI), que aborda las bases científicas del cambio climático a través de seis temas que son desarrollados por capítulos: Modelaje y estadística; Evaluación de los modelos climáticos del IPCC AR5 para Venezuela; Sistemas oceánicos; Ecosistemas terrestres y biodiversidad; Ecosistemas marino-costeros y, Áreas protegidas. Grupo de Trabajo II (GTII) que aborda los impactos, la vulnerabilidad y la adaptación al cambio climático a través de 5 temas que son desarrollados por capítulos: Agricultura; Salud humana y de ecosistemas; Áreas urbanas y transporte; Institucionalidad y, Educación Ambiental. Finalmente el Grupo de Trabajo III que aborda el tema de la Mitigación en un capítulo.

El Resumen para Responsables de Políticas (RRP), obtenido a partir de los resultados de un taller realizado con autores del PRACC en octubre de 2017, contiene dos productos relevantes:

- Hallazgos. Basados en evidencias derivadas de la revisión de literatura científica y técnica que conforman el PRACC. Mediante un ejercicio FODA se identificaron las fortalezas derivadas de cada hallazgo (representan fundamentalmente las conclusiones del PRACC), así como las debilidades de cada hallazgo.
- Lineamientos y estrategias. Serie de recomendaciones derivadas del punto anterior, que a juicio de los autores, pueden apoyar la toma de decisiones en cuanto al problema del cambio climático para Venezuela.

La información se presenta en formato de tablas, por equipos y por capítulo, para los hallazgos y para los lineamientos y estrategias, a excepción del equipo 1 que presenta de forma consolidada los resultados de los capítulos en una sola tabla para hallazgos, y en otra, los lineamientos y estrategias. Esto es posible dada la gran afinidad de los capítulos que conforman el equipo1.

Se espera que la información científica y técnica presentada en este documento, para los temas abordados en el PRACC, pueda apoyar la toma de decisiones en relación a medidas para atender los impactos, la vulnerabilidad y los riesgos atribuibles a cambio climático en el país, así como para la formulación de políticas públicas nacionales relativas a este problema.

Proceso

El PRACC fue preparado tomando como referencia los procedimientos del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) para la elaboración de sus reportes de evaluación ([Figura Pr. 1](#)). El contenido del reporte, así como el de cada capítulo, fue discutido en una reunión de alcance durante el último trimestre del 2014 y aprobado a mediados del 2015. Ambas reuniones se realizaron en el Palacio de las Academias, sede de la ACFIMAN, en Caracas, Venezuela. La ACFIMAN, así como universidades nacionales, gobiernos locales y ONG del país, nominaron expertos para conformar el equipo de autores. Inicialmente fueron nominados 92 expertos venezolanos, tanto residentes en el país como en el extranjero. Finalmente el reporte contó con la contribución de 67 expertos que conforman el equipo de autores del reporte, quienes pertenecen a más de 20 instituciones y organizaciones nacionales ([Figura Pr. 2](#)).

Durante el período comprendido entre el año 2014 y el año 2017, se prepararon tres borradores, sometidos a dos rondas de revisión formal, realizada por autores revisores. Luego de cada revisión, los autores actualizaron sus respectivos capítulos, con la supervisión permanente del revisor editor para asegurar que

cada ronda de comentarios fuera suficientemente considerada, y cuando fue apropiado a juicio de los autores, los capítulos fueron ajustados para reflejar los puntos señalados por los revisores.



Figura Pr. 1 Procedimiento de la SACC para elaborar el PRACC.

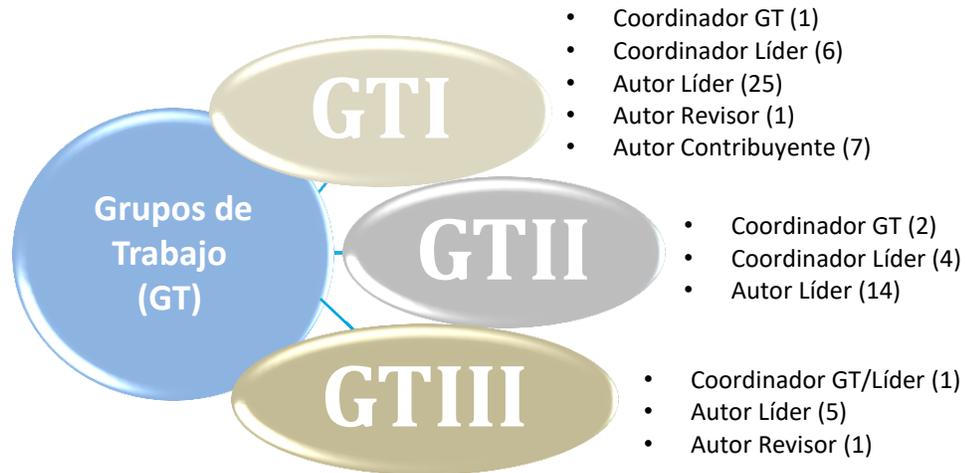


Figura Pr. 2 Distribución de los Autores según Grupos de Trabajo (GT) y responsabilidades dentro de los capítulos del PRACC.

Contenido

Agradecimientos.....	ix
Presentación de Antonio Machado-Allison.....	xiii
Presentación de Claudio Bifano.....	xv
Prólogo	xix
PARTE I BASES CIENTÍFICAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN VENEZUELA	1
I.1 MODELAJE Y ESTADÍSTICA	3
I.1.1 Introducción.....	7
I.1.2 Información climática disponible.....	10
I.1.3 Modelos climáticos globales y sus aplicaciones para Venezuela.....	11
I.1.4 Comparación entre los modelos globales del proyecto de Intercomparación de Modelos Climáticos.....	11
I.1.5 Escenarios de emisiones y concentraciones de GEI	13
I.1.6 Comparación de las proyecciones de los modelos climáticos globales para Venezuela.....	14
I.1.7 Modelos climáticos regionales y sus aplicaciones para Venezuela	16
I.1.8 Estudios de <i>downscaling</i> , modelos estocásticos y dinámicos para el clima en Venezuela ...	18
I.1.9 Influencia de El Niño sobre Venezuela: Modelaje e impactos.....	19
I.1.10 Estudios paleoclimáticos en Venezuela.....	25
I.1.11 Vacíos de investigación.....	34
I.1.12 Conclusiones.....	34
Referencias	36
I.2 EVALUACIÓN DE LOS MODELOS CLIMÁTICOS DEL IPCC AR5 PARA VENEZUELA	45
I.2.1 Introducción.....	47
I.2.1 Los escenarios del AR5.....	48
I.2.2 Los modelos climáticos en el AR5.....	50
I.2.3 Adaptación de los modelos climáticos a Venezuela	51
I.2.4 Conclusiones.....	72
Referencias	75
I.3 SISTEMAS OCEÁNICOS.....	77
I.3.1 Introducción.....	80
I.3.2 Influencia de los océanos Pacífico y Atlántico sobre la variabilidad climática de Venezuela	84
I.3.3 Conclusiones.....	86
Referencias	88
I.4 ECOSISTEMAS TERRESTRES Y BIODIVERSIDAD.....	91
I.4.1 Introducción.....	94
I.4.2 La Guayana Venezolana	96
I.4.3 Los Llanos de Venezuela	138
I.4.4 La Cordillera de la Costa	153
I.4.5 Los sistemas áridos y semiáridos de los estados Lara y Falcón.....	161
I.4.6 Conclusiones.....	203
Referencias	206

I.5	ECOSISTEMAS MARINO-COSTEROS	223
I.5.1	Introducción	226
I.5.2	Revisión bibliográfica y consulta a expertos: búsqueda de evidencias	227
I.5.3	Resultados.....	227
I.5.4	Casos especiales: Eventos climáticos recientes con mayor impacto en los sistemas marino-costeros de Venezuela.....	228
I.5.5	Iniciativas que evalúan el efecto del cambio climático sobre algunas especies presentes en hábitats marino-costeros en el país.....	235
I.5.6	Conclusiones y recomendaciones.....	239
	Referencias	241
I.6	ÁREAS PROTEGIDAS	245
I.6.1	Introducción	248
I.6.2	Revisión bibliográfica: búsqueda de evidencias	249
I.6.3	Resultados.....	251
I.6.4	Conclusiones y recomendaciones.....	257
	Referencias	259
PARTE II	IMPACTOS, VULNERABILIDAD Y ADAPTACIÓN	261
II.1	AGRICULTURA	263
II.1.1	Introducción	267
II.1.2	Características generales de Venezuela y del sector agropecuario.	267
II.1.3	Variabilidad climática en Venezuela y su vinculación con la agricultura	270
II.1.4	Variabilidad climática y su impacto agrícola	275
II.1.5	Posibles Impactos del cambio climático en agricultura, estrategias de adaptación y mitigación.....	285
II.1.6	Aspectos socioeconómicos relativos al cambio climático, vinculados a la agricultura.	291
II.1.7	Adaptación y agricultura.....	294
II.1.8	Conclusiones	295
	Referencias	299
II.2	SALUD HUMANA Y DE ECOSISTEMAS.....	305
II.2.1	Introducción	308
II.2.2	Registros de clima y epidemiológicos del país	308
II.2.3	Cambio climático y salud: diferentes enfoques de investigación en Venezuela.....	310
II.2.4	Efectos del cambio climático en la salud, a escala global y en Venezuela	312
II.2.5	Recomendaciones para la adaptación en salud humana	317
II.2.6	Conclusiones	319
	Referencias	320
II.3	ÁREAS URBANAS Y TRANSPORTE	323
II.3.1	Introducción	326
II.3.2	Impactos observados y vulnerabilidades en áreas urbanas	326
II.3.3	Experiencia en adaptación y áreas urbanas.....	329
II.3.4	Riesgos claves y emergentes en áreas urbanas	330
II.3.5	Riesgos en el transporte urbano	333
II.3.6	Posibles acciones de mitigación y adaptación en áreas urbanas	334
II.3.7	Posibles acciones de mitigación y adaptación en el transporte urbano	339
II.3.8	Experiencia en la toma de decisiones	343
II.3.9	Casos de estudio	345
II.3.10	Resumen de riesgos clave y emergentes.....	350
II.3.11	Conclusiones	351
	Referencias	354

II.4	INSTITUCIONALIDAD EN CAMBIO CLIMÁTICO.....	357
II.4.1	Introducción.....	360
II.4.2	La gobernanza y el cambio climático en Venezuela	362
II.4.3	La presencia de Venezuela en el contexto regional del cambio climático.....	365
II.4.4	El estado de la institucionalidad relativa al ambiente y al cambio climático en Venezuela..	366
II.4.5	Institucionalidad en cambio climático a nivel local, en Venezuela.....	377
II.4.6	Conclusiones.....	379
	Referencias	381
II.5	EDUCACIÓN AMBIENTAL Y CAMBIO CLIMÁTICO	385
II.5.1	Introducción.....	387
II.5.2	La educación sobre cambio climático en Venezuela desde el gobierno nacional	388
II.5.3	La educación sobre cambio climático desde el sistema de educación universitario.....	391
II.5.4	La educación sobre cambio climático desde las organizaciones de la sociedad civil.....	392
II.5.5	Investigación educativa en el contexto del cambio climático	393
II.5.6	Conclusiones.....	394
	Referencias	396
PARTE III	MITIGACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN VENEZUELA.....	399
III.1	Introducción.....	402
III.2	Oportunidades de mitigación por sectores.....	402
III.2.1	Industria petrolera	402
III.3	Industria eléctrica	411
III.3.1	Cambio de combustible	411
III.3.2	Energías renovables	413
III.4	Sector energético. Consumo	414
III.4.1	Transporte.....	414
III.4.2	Construcción	415
III.5	Sector forestal: aumento de los sumideros naturales de CO ₂	417
III.6	Sector agropecuario	420
III.7	Gestión de desechos.....	421
III.7.1	Desechos sólidos.	421
III.7.2	Manejo de los desechos en el país	425
III.8	Conclusiones y recomendaciones	428
III.9	Referencias.....	432
Epílogo	435
AUTORES	442
ANEXO 1	450
DECLARACIÓN DE CARACAS.....		450
ANEXO 2	451
DECLARACIÓN DE MÉRIDA.....		451

Índice de tablas

Tabla I.1.1	Clasificación por pisos térmicos de Venezuela.	9
Tabla I.2.1	Escenarios de AR5, fuerza radiativa y concentraciones de CO ₂	48
Tabla I.2.2	Simulaciones de las variaciones de TEMPERATURA Media Anual (°C) para el período 2071-2095 contra el período 1980-2004 plausibles para Venezuela para modelos climáticos ordenados según RMSE y Sesgo para RCP 8.5.	53
Tabla I.2.3	Simulaciones de las variaciones de TEMPERATURA Media Anual (°C) para el período 2071-2095 contra el período 1980-2004 plausibles para Venezuela para modelos climáticos ordenados según RMSE y Sesgo para RCP 6.0.	53
Tabla I.2.4	Simulaciones de las variaciones de TEMPERATURA Media Anual (°C) para el período 2071-2095 contra el período 1980-2004 plausibles para Venezuela para modelos climáticos ordenados según RMSE y Sesgo para RCP 4.5.	54
Tabla I.2.5	Simulaciones de las variaciones de TEMPERATURA Media Anual (°C) para el período 2071-2095 contra el período 1980-2004 plausibles para Venezuela para modelos climáticos ordenados según RMSE y Sesgo para RCP 2.6.	54
Tabla I.2.6	Modelos seleccionados representativos de temperatura sobre Venezuela.	58
Tabla I.2.7	Simulaciones de las variaciones de PRECIPITACIÓN Media Anual (mm/día) para el período 2071-2095 contra el período 1980-2004 plausibles para Venezuela para modelos climáticos ordenados según RMSE y Sesgo para RCP 8.5.	62
Tabla I.2.8	Simulaciones de las variaciones de PRECIPITACIÓN Media Anual (mm/día) para el período 2071-2095 contra el período 1980-2004 plausibles para Venezuela para modelos climáticos ordenados según RMSE y Sesgo para RCP 6.0.	62
Tabla I.2.9	Simulaciones de las variaciones de PRECIPITACIÓN Media Anual (mm/día) para el período 2071-2095 contra el período 1980-2004 plausibles para Venezuela para modelos climáticos ordenados según RMSE y Sesgo para RCP 4.5.	63
Tabla I.2.10	Simulaciones de las variaciones de PRECIPITACIÓN Media Anual (mm/día) para el período 2071-2095 contra el período 1980-2004 plausibles para Venezuela para modelos climáticos ordenados según RMSE y Sesgo para RCP 2.6.	63
Tabla I.2.11	Modelos seleccionados representativos de precipitación sobre Venezuela.	66
Tabla I.4.1	La Guayana venezolana según conceptualización hidrográfica, política, regional y biorregional.	98
Tabla I.4.2	Red hidrográfica de la Región Guayana: ríos más importantes.	101
Tabla I.4.3	Formaciones boscosas que incluyen 54 tipos de bosques para la Guayana venezolana.	102
Tabla I.4.4	Formaciones arbustivas que incluyen 14 tipos de arbustales para la Guayana venezolana.	102
Tabla I.4.5	Formaciones herbáceas que incluyen 17 tipos de herbazales para la Guayana venezolana.	103
Tabla I.4.6	Biodiversidad reportada para la Región Guayana en estudios científicos.	104
Tabla I.4.7	Cobertura boscosa en kilómetros cuadrados para las entidades federales de Venezuela y para las regiones del país.	106
Tabla I.4.8	Tipos de vegetación, superficie de cobertura y porcentaje de cobertura en las tres entidades federales guayanesas.	107
Tabla I.4.9	Superficie ocupada por cada formación vegetal en cada sector de la Cuenca del Río Caroní.	112
Tabla I.4.10	Resumen de algunos de los trabajos científicos publicados en la Guayana venezolana, que cuentan con datos cuantitativos sobre el carbono orgánico contenido en los suelos (COS), o aportan datos sobre la estructura comunitaria (abundancia de especies, diámetro a la altura al pecho -DAP-, área basal, etc.).....	114
Tabla I.4.11	Focos de incendios en las tres entidades federales de la Guayana venezolana de acuerdo al sensor MODIS.	130
Tabla I.4.12	Área afectada por los incendios o quema de la vegetación en la Cuenca del Caroní (ha).	131

Tabla I.4.13	Tipos de vegetación presentes en los Llanos de Venezuela, superficie de cobertura y porcentaje de cobertura con respecto a todas las entidades federales llaneras.	141
Tabla I.4.14	Cobertura de la tierra en las entidades federales que abarcan la Cordillera de la Costa. .	156
Tabla I.4.15	Áreas correspondientes a diferentes clases de comunidades vegetales.	168
Tabla I.4.16	Clases de cobertura vegetal en la Península de Paraguaná.	170
Tabla I.4.17	Variación de la respiración edáfica (producción de CO ₂) por efecto de uso de la tierra en suelos de la Península de Paraguaná, estado Falcón.	177
Tabla I.4.18	Áreas estudiadas con sus principales tipos de uso de la Tierra y características edafoclimáticas.	179
Tabla I.4.19	Valores de Carbono orgánico, carbono de la biomasa microbiana y relación de pérdida porcentual del COS y el C-BM en las áreas estudiadas según el tipo de uso de la tierra, con respecto al control.	180
Tabla I.4.20	Autovalores de la matriz de correlaciones correspondientes al análisis de componentes principales (ACP) de base de datos provenientes de la depresión de Quíbor.	185
Tabla I.4.21	Correlaciones con las variables originales correspondiente al análisis de componentes principales (ACP) de base de datos provenientes de la depresión de Quíbor.	185
Tabla I.4.22	Categorización de variables edafológicas en suelos de la depresión de Quíbor.	187
Tabla I.4.23:	Frecuencias relativas de variables edafológicas en suelos de la depresión de Quíbor.	187
Tabla I.4.24	Efectos de uso de la tierra sobre la disminución del carbono orgánico en la depresión de Quíbor.	189
Tabla I.4.25	Distribución de suelos afectados por sales en la Depresión de Quíbor.	190
Tabla I.4.26	Efectos de uso de la tierra sobre el pH y conductividad eléctrica en suelos de la depresión de Quíbor.	191
Tabla I.4.27	Efectos de uso de la tierra sobre la disponibilidad de nutrientes en suelos de la depresión de Quíbor.	193
Tabla I.4.28	Características climáticas generales observadas en el municipio Torres del estado Lara.	195
Tabla I.4.29	Autovalores correspondientes al análisis de componentes principales (ACP) de base de datos provenientes del Municipio Torres.	195
Tabla I.4.30	Correlaciones con las variables originales correspondiente al análisis de componentes principales (ACP) de base de datos provenientes de la depresión de Carora.	196
Tabla I.4.31	Categorización de variables edafológicas en suelos de la depresión de Carora.	198
Tabla I.4.32	Frecuencias relativas de variables edafológicas en suelos de la depresión de Quíbor.	198
Tabla I.4.33	Efectos de uso de la tierra sobre la disminución del carbono orgánico en la depresión de Carora.	200
Tabla I.4.34	Efectos de uso de la tierra sobre el pH y conductividad eléctrica en suelos de la depresión de Carora.	200
Tabla I.4.35	Efectos de uso de la tierra sobre la disponibilidad de nutrientes en suelos de la depresión de Carora.	201
Tabla I.6.1	Nivel de cubrimiento territorial alcanzado por el Sistema de Parques Nacionales de Venezuela por provincia fisiográfica, indicando el número de unidades de manejo por categoría y el porcentaje de cobertura territorial.	248
Tabla I.6.2	Identificación de lista de AP por provincia fisiográfica, los posibles impactos del cambio climático y los ecosistemas que podrían resistir dichos cambios.	252
Tabla II.1.1	Superficie sembrada y rendimiento de los principales rubros agrícolas de Venezuela en el año 2014.	268
Tabla II.4.1	Indicadores de Gobernanza. Países selectos.	363

Índice de cuadros

Cuadro I.2.1	Modelos Climáticos.....	51
Cuadro II.2.1	Tipos de enfermedades asociadas a variables climáticas.....	315
Cuadro II.4.1	Estatus de las Comunicaciones Nacionales (CN), Reportes Bianuales de Actualización (BUR) en Cambio Climático e Inventario de GEI (IGEI), de los países No Anexo 1 de América Central y América del Sur (continentales).....	366
Cuadro II.4.2	Logros de la gestión del Ministerio de Ambiente de Venezuela (MINANB) vinculados a cambio climático.....	372
Cuadro II.4.3	Objetivos relacionados con cambio climático, considerados en el Plan de la Patria 2012-2019.....	374
Cuadro II.4.4	Políticas ambientales para la adecuación al cambio climático y la gestión de riesgos. Plan Caracas 2020.....	378
Cuadro III. 1	Consumo de hidrocarburos líquidos en el mercado interno.....	404
Cuadro III. 2	Factores de emisión de GEI para los combustibles.....	408
Cuadro III. 3	Distribución de las emisiones de CH ₄ debido al venteo de gas natural de la industria petrolera según actividades.....	410
Cuadro III. 4	Distribución de las emisiones de CH ₄ de la industria petrolera según sus fuentes.....	410
Cuadro III. 5	Potencial de energías renovables en Venezuela.....	413
Cuadro III. 6	Estimaciones de la superficie cubierta por bosques.....	419
Cuadro III. 7	Comparación de los estudios sobre cobertura de bosques a escala nacional.....	419
Cuadro III. 8	Emisión de metano entérico por el rebaño bovino en Venezuela, estimado mediante diferentes ecuaciones para los años 1997 y 2007.....	421
Cuadro III. 9	Inventario de Reducción de Emisiones GEI provenientes del Biogás producido en el Relleno Sanitario La Bonanza (Gg/año), por la quema de CH ₄ en CO ₂	427
Cuadro III. 10	Inventario de emisiones del Biogás producido en el Relleno Sanitario La Bonanza (t/año) y su valor económico estimado por la quema de CH ₄ en CO ₂	428

Índice de figuras

Figura Pr. 1	Procedimiento de la SACC para elaborar el PRACC.....	xxii
Figura Pr. 2	Distribución de los Autores según Grupos de Trabajo (GT) y responsabilidades dentro de los capítulos del PRACC.	xxii
Figura I.1.1	Calima sobre el suroeste de Caracas marzo 2010.	4
Figura I.1.2	Geografía física de Venezuela.	8
Figura I.1.3	Distribución actual (1961-1990) de los tipos climáticos según Thornthwaite.	10
Figura I.1.4	Grillas utilizadas para la simulación de los GCMs.	15
Figura I.1.5	Condiciones normales de El Niño en el Océano Pacífico.	19
Figura I.1.6	Regiones homogéneas de la magnitud de la sequía anual en el período 1961–1996 en los Llanos de Venezuela.	24
Figura I.1.7	Ubicación de los sitios de mayor interés paleoclimático en Venezuela.....	24
Figura I.1.8	Ubicación geográfica de la Fosa de Cariaco.	28
Figura I.1.9	Vista aérea de actividad humana que altera el paisaje. Muestra un conuco activo (tope) y uno recién abierto (fondo), notar los árboles parcialmente quemados.....	33
Figura I.2.1	Planta Centro Edo Carabobo.	46
Figura I.2.2	Forzamiento Radiativo de las Vías de Concentración Representativas.....	49
Figura I.2.3	Variaciones mensuales de la temperatura al período 2071-2095 vs período 1980-2001 para modelos climáticos GCM de menor RSE y según el Escenario RCP8.5.	55
Figura I.2.4	Variaciones mensuales de la temperatura al período 2071-2095 vs período 1980-2001 para modelos climáticos GCM de menor RSE y según el Escenario RCP6.0	55
Figura I.2.5	Variaciones mensuales de la temperatura al período 2071-2095 vs período 1980-2001 para modelos climáticos GCM de menor RSE y según el Escenario RCP4.5.	56
Figura I.2.6	Variaciones mensuales de la temperatura al período 2071-2095 vs período 1980-2001 para modelos climáticos GCM de menor sesgo y según el Escenario RCP2.6.	56
Figura I.2.7	Variaciones mensuales de la precipitación al período 2071-2095 vs período 1980-2001 para modelos climáticos GCM de menor sesgo y según el Escenario RCP8.5.	64
Figura I.2.8	Variaciones mensuales de la precipitación al período 2071-2095 vs período 1980-2001 para modelos climáticos GCM de menor sesgo y según el Escenario RCP6.0.	64
Figura I.2.9	Variaciones mensuales de la precipitación al período 2071-2095 vs período 1980-2001 para modelos climáticos GCM de menor sesgo y según el Escenario RCP4.5.	65
Figura I.2.10	Variaciones mensuales de la precipitación al período 2071-2095 vs período 1980-2001 para modelos climáticos GCM de menor sesgo y según el Escenario RCP2.6.	65
Figura I.2.11	Variaciones de la temperatura en Venezuela al 2080-2100.	70
Figura I.2.12	Variaciones de la precipitación en Venezuela al 2080-2100.....	72
Figura I.3.1	Mar Caribe Costa Oriental Edo Falcón, Venezuela.	78
Figura I.3.2	SSTA en grados centígrados promediada desde junio hasta agosto de 1973. Período base: 1981-2010.	82
Figura I.3.3	Índice de precipitación estandarizado trimestral en Venezuela desde marzo hasta diciembre del año 2015. Período base: 1981-2016.	83
Figura I.3.4	SSTA en grados centígrados promediada desde marzo hasta diciembre del año 2015. Período base: 1981-2010.....	83
Figura I.3.5	Precipitación mensual promediada sobre la región continental de Venezuela expresada como anomalía en mm/mes desde enero 1950 hasta diciembre 2013.....	84
Figura I.3.6	ONI desde enero 1950 hasta mayo 2015.....	85
Figura I.3.7	SSTA promediada sobre la región oceánica Atlántico Norte (0.5-23.5° N y 15-57.5° O) desde enero 1950 hasta mayo 2015.	86
Figura I.3.8	Para el período 1950-2013 se muestra el valor del coeficiente de correlación lineal de Pearson.	86
Figura I.4.1	Bosque lluvioso tropical Edo Yaracuy 2010.	92
Figura I.4.2	Mapa del Escudo de Guayana y de la Región Guayana de Venezuela.....	97

Figura I.4.3	Mapa de Venezuela indicando los tres estados guayaneses: Amazonas, Bolívar y Delta Amacuro.	97
Figura I.4.4	Cuencas de ríos importantes de la Región Guayana venezolana.	99
Figura I.4.5	Ubicación de los llanos colombo-venezolanos.	140
Figura I.4.6	Ubicación del sistema orográfico del Caribe o Cordillera de la Costa en Venezuela.	153
Figura I.4.7	Sitios de muestreo de la vegetación en la Península de Paraguaná, estado Falcón, Venezuela.	165
Figura I.4.8	Comunidades vegetales de la Península de Paraguaná, estado Falcón, Venezuela.	167
Figura I.4.9	Cobertura vegetal de la Península de Paraguaná.	171
Figura I.4.10	Distribución del carbono orgánico del suelo en la Península de Paraguaná.	173
Figura I.4.11	Reservas de carbono orgánico en el suelo superficial (0-25 cm) por tipo de vegetación.	174
Figura I.4.12	Zona de producción de cultivos de la Península de Paraguaná y localización de las estaciones climáticas.	182
Figura I.4.13	Años de registro de las estaciones climáticas ubicadas en la Península de Paraguaná.	182
Figura I.4.14	Índice de precipitación estandarizado (SPI) en la estación climatológica Quíbor durante el período 1980-2012.	184
Figura I.4.15	<i>Biplots</i> de variables provenientes de muestras de la depresión de Quíbor. F.	186
Figura I.4.16	Diagrama de comportamiento de los sectores dependiendo a las variables estudiadas en datos provenientes del municipio Torres.	197
Figura I.4.17	Ubicación de los sectores del municipio Torres, correspondientes a la base de datos de suelos de la unidad de investigación en suelo y nutrición mineral de plantas.	197
Figura I.5.1	Afloramiento arrecifal Refugio de Fauna Silvestre Cuare Edo Falcón, Venezuela, 2013.	224
Figura I.5.2	Arrecife de Madrisquí en el Parque Nacional Archipiélago Los Roques (PNALR), Venezuela.	229
Figura I.5.3	Arrecife del Archipiélago Los Roques, Venezuela, afectado por blanqueamiento masivo en el año 2010.	230
Figura I.5.4	Colonias de <i>Meandrina meandrites</i> . Izq. Colonia con su coloración común, Der. Colonia con blanqueamiento. Fotografía Fundación Científica Los Roques, FCLR.	231
Figura I.5.5	Manglar de Caño Pancho, Refugio de Fauna Silvestre de Cuare (RFSC, Estado Falcón, Venezuela).	234
Figura I.5.6	Manglar de Boca del Zorro, Parque Nacional Morrocoy (PNM-Estado Falcón, Venezuela).	234
Figura I.5.7	Tortuga verde <i>Chelonia mydas</i> arribando a playa arenosa del Refugio de Fauna Silvestre Isla de Aves (RFS Isla de Aves, Venezuela). Fotografía Luis Delgado.	236
Figura I.5.8	Gráfica de producción pesquera (toneladas) de <i>Sardinella aurita</i> durante un período de 18 años.	237
Figura I.5.9	Aves playeras, "Playeritas", en el Parque Nacional Archipiélago Los Roques (PNALR, Venezuela).	238
Figura I.5.10	Aves playeras, "Gaviotas", en el Parque Nacional Archipiélago Los Roques (PNALR, Venezuela).	238
Figura I.6.1	Cuevas Refugio de Fauna Silvestre Cuare Edo Falcón, Venezuela, 2013.	246
Figura I.6.2	Distribución de los Parques Nacionales y Monumento Naturales en las diferentes Provincias Fisiográficas.	249
Figura II.1.1	Embalse de Calabozo Edo Guárico 2016.	264
Figura II.1.2	América Latina y el Caribe. PIB per cápita y consumo de energía per cápita, 2011.	291
Figura II.2.1	Botadero de basura en las afueras de Bejuma Edo Carabobo, Venezuela, 2010.	306
Figura II.3.1	Atmósfera de Caracas 2016.	324
Figura II.4.1	Flora Silvestre de Venezuela 2015.	358
Figura II.4.2	Organigrama institucional del Ministerio de Ecosocialismo y Aguas (MINEA).	373
Figura II.5.1	Educando a los futuros profesionales. Campus de Sartenejas, Universidad Simón Bolívar (Venezuela).	386
Figura III. 1	Fotocomposición mostrando fuentes de emisión de GEI, estado Monagas, Venezuela.	400
Figura III. 2	Distribución de las emisiones de CO ₂ de la industria petrolera (1999).	404

Figura III. 3	Recolección estimada de residuos y desechos sólidos (Toneladas/día). Período 2006-2012.....	423
Figura III. 4	Recolección estimada de residuos y desechos sólidos per-cápita en Venezuela (kg/día/persona). Período 2006-2012.....	423
Figura III. 5	Recolección estimada de residuos y desechos sólidos (Toneladas) en el Distrito Capital. Período 2006-2012.	424
Figura III. 6	Total de desechos sólidos reciclados (kg) por tipo en Venezuela. Año 2012.....	424
Figura III. 7	Relación entre el aumento de la Generación de desechos sólidos, PIB per cápita y población. Período 2006-2012.	425
Figura III. 8	Evolución de la producción de Biogás en el relleno Sanitario “La Bonanza”.....	427

PARTE I

**PARTE I BASES CIENTÍFICAS DEL
CAMBIO CLIMÁTICO EN
VENEZUELA**

GRUPO DE TRABAJO I (GTI)

Coordinador

Jesús Augusto Gómez



I.1 MODELAJE Y ESTADÍSTICA

Coordinador líder

Isabel Llatas

Autor líder

Andrés M. Sajo-Castelli

Autores contribuyentes

Luis Araya, Rafael Lairet Centeno, Pedro Ovalles, Desireé Villalta

Autor revisor

Lelys Bravo

Palabras clave: modelaje del clima, ENSO, América del Sur, Venezuela.



Figura I.1.1 Calima sobre el suroeste de Caracas marzo 2010. Fotografía Alicia Villamizar.

Acrónimos

ANN	Red Neuronal Artificial
AP	Antes del presente (presente definido por 1950)
AR4	Reporte 4 / Assessment Report 4
AR5	Reporte 5 / Assessment Report 5
ASST	Atlantic Ocean Sea Surface Temperatures/ Temperatura del Atlántico Subtropical
ATLN	Anomalías en la temperatura superficial del Océano Atlántico Norte
ATLS	Anomalías en la temperatura superficial del Océano Atlántico Sur
ATNOR	Temperatura superficial del Atlántico Tropical Norte
ATS	Temperatura superficial del Atlántico Sur
BMRC	Bureau of Meteorology Research Centre / Centro de Investigación del Servicio Meteorológico Australiano
ACC	Análisis de correlación canónica.
CCAFS	Programa de Investigación sobre Cambio Climático, Agricultura y Seguridad Alimentaria
CCC-EQ	Canadian Center for Climate Modelling and Analysis CLIVAR Climate Variability and Predictability
CLIVAR	Climate Variability and Predictability
CMIP	Proyecto de Intercomparación de Modelos Climáticos / Coupled Model Intercomparison Project
CPC	Climate Prediction Center/ Centro de Predicción Climática de la NOAA
CPTEC	Centro Brasileiro para Pronósticos y Estudios del Clima
CRU	Climate Research Unit
CWG	Generador de tiempo condicional
DEF	Trimestre diciembre-enero-febrero
DIN	Nitrógeno inorgánico disuelto
ECHAM5-MPI	Atmospheric general circulation model of the Max Planck Institute for Meteorology
EDELCA	Electrificación del Caroní C. A.
ELA	Altura de equilibrio glacial
ENSO	El Niño Southern Oscillation / EL Niño Oscilación del Sur
GCM	Modelos climáticos globales / Modelos de Circulación Global
GEI	Gases de efecto de invernadero
HE	Heinrich del Atlántico Norte
INAMEH	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change / Panel Intergubernamental de Cambio Climático
ITCZ	Intertropical Convergence Zone
JJA	Trimestre junio-julio-agosto
MAGICC-SCENGEN	Model for the Assessment of Greenhouse-gas Induced Climate Change, Regional Climate SCENario GENerator
MAR	Modelos autoregresivos multivariados
MLR	Regresión lineal múltiple.
MM4	Mesoscale Model Version 4
MM5	Mesoscale Model Version 5
m s.n.m.	Metros Sobre el Nivel del Mar
NAO	North Atlantic Oscillation / Oscilación del Atlántico Norte
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
NPP	Palimorfos sin polen
NTA	North Tropical Atlantic Index / Índice del Atlántico tropical norte
PSST	Temperatura mensual superficial del Pacífico/ Monthly Pacific Ocean Sea

	Surface Temperatures
PSU	The Pennsylvania State University
PVM	Modelo de vegetación potencial
QBO	Oscilación Quasi-Bianual
RCM	Regional Circulation Models / Modelos de Circulación Regional
RCP	Trayectorias de Concentración Representativas / Representative Concentration Pathways
REA	Reliability Ensemble Average
SOI	Southern Oscillation Index / Índice de Oscilación Sur
SON	Trimestre septiembre-octubre-noviembre
SRES	Reporte especial sobre los escenarios de emisiones / Special Report on Emission Scenarios
SREX	Special Report on Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation
SST	Sea Surface Temperature / Temperatura de la superficie del mar
SSTA	Sea Surface Temperature Anomalies / Anomalías de la Temperatura de la Superficie del mar
UKTR	United Kingdom Meteorological Office
UNEP-WCMC	United Nations Environment Programme, World Conservation Monitoring Centre / Centro de Observación y Conservación Mundial del Programa de Ambiente de las Naciones Unidas
UNKO-HAD-CM3	Hadley Centre Coupled Model, versión 3 (HadCM3)
VM	Variable Macroclimática
ÚGM	Último Glacial Máximo
WMO	World Meteorological Organization / Organización Mundial de Meteorología.

I.1.1 Introducción

La atmósfera permite la vida, pero también establece las condiciones para que esta continúe y se desarrolle en el planeta; su estudio es importante para la sobrevivencia de la civilización. El tiempo meteorológico y el clima se definen a partir del comportamiento de los elementos que conforman la atmósfera y de otros factores meteorológicos, tales como el sol, la órbita de la tierra y su rotación. Tiempo y clima están emparentados: el primero considera las condiciones atmosféricas en un mismo lugar y el segundo corresponde a las características de variabilidad del tiempo en ese lugar, por lo que cuando se habla del clima se está hablando del estado medio de la atmósfera en un lugar dado, y es el objeto de estudio de la climatología (Guevara, 2004).

El clima cambia de un lugar geográfico a otro; la variabilidad del comportamiento debe ser analizada tomando en cuenta la influencia espacio-temporal para que se puedan identificar sus características en ciertas áreas, y sobre todo, es de vital importancia establecer las peculiaridades propias de cada zona a través de los valores climáticos medios.

Las diversas características físicas de la atmósfera, como radiación, temperatura, presión, viento, humedad, nubosidad, insolación, precipitación y evaporación, son los elementos que sirven para identificar la complejidad del clima; pero existen factores meteorológicos o geográficos que influyen en su variabilidad; entre los más importantes se tienen longitud, latitud, altitud, distribución de tierra y agua, proximidad al mar, relieve, corrientes oceánicas, masas de aire y frentes, centros semipermanentes de altas y bajas presiones, tormentas, vegetación, entre otras (Guevara, 2004). En el caso de Venezuela, el clima se puede caracterizar según tres ámbitos: el biogeográfico, el climatológico y el de vegetación.

Según el ámbito biogeográfico el territorio nacional se ubica al norte de América del Sur en la Zona Intertropical Norte de La Tierra, entre el Trópico de Cáncer y el Ecuador, latitudes 2N y 13N. Se identifican tres regiones propias del neotrópico: la región Costera que abarca la costa caribeña y los Llanos, la región Andina, que a su vez incluye el Lago de Maracaibo, y la región de Guayana que incluye el Delta del Orinoco, la Amazonía venezolana y la Gran Sabana. El ámbito biogeográfico es altamente heterogéneo y presenta una gran diversidad climática y biótica (Figura I.1.2).

Respecto al ámbito climatológico, Venezuela presenta un clima tropical sin época de frío acentuado o extremo, y con pocas variaciones de temperaturas extremas. La orografía es el factor climático más determinante en la región intertropical; la altitud altera la temperatura disminuyéndola a medida que aumenta la elevación sobre el nivel del mar. Es común que las personas asocien el frío con las zonas de alta montaña, por ejemplo, aquellas que se encuentran en los páramos andinos, como Mucuchíes o Chachopo, la Colonia Tovar en la Cordillera Central, Caripe del Guácharo en la Cordillera

Oriental, así como en las mesetas a gran altura sobre el nivel del mar como el Parque Nacional Canaima, la Gran Sabana o Roraima. Las zonas más calurosas del país se ubican a pocos metros sobre el nivel del mar o aún por debajo de ese nivel, por ejemplo, Maracaibo y Cabimas, Bachaquero a orillas del Lago de Maracaibo, Punto Fijo, Puerto Cabello, La Guaira, la conurbación Barcelona-Guanta, Cumaná, Carúpano, los llanos de Guanare y San Fernando de Apure; Ciudad Bolívar, Ciudad Guayana, el Tigre, Maturín o Tucupita. Ciudades importantes con gran población se encuentran en zonas con altitudes intermedias, presentando temperaturas de frescas a templadas, tales como las capitales andinas de Mérida, San Cristóbal y Trujillo, y las céntricas como Barquisimeto, Los Teques y Caracas.

La climatología venezolana se puede clasificar en función de su orografía; en este caso, la diferencia entre los pisos térmicos es muy conveniente para realizar la caracterización, sobre todo en las zonas montañosas de las cordilleras de los Andes, de la Costa, de Perijá, el Sistema Coriano y el Macizo de Guayana. Una clasificación de este tipo para Venezuela se presenta en la [tabla I.1.1](#), donde el gradiente térmico corresponde a $-0,6^{\circ}\text{C}$ de temperatura media cada 100 metros. Según Silva (2000), la Cuenca del Río Chama es la única zona de Venezuela que alcanza un desnivel de 5.000 metros, advirtiendo que este gradiente podría ser diferente para otras zonas del país. En la [figura I.1.3](#) se representa la diversidad orogénica de Venezuela, observándose cadenas montañosas como Los Andes y la Cordillera de la Costa Central y Oriental, el Sistema Coriano, así como el macizo y las mesetas altas de Guayana, que favorecen una importante diversidad climática a pesar de su latitud intertropical.



Figura I.1.2 Geografía física de Venezuela. Fuente: PDVSA, Atlas de Venezuela, 1996, en Corporación Andina de Fomento, 2000.

Tabla I.1.1 Clasificación por pisos térmicos de Venezuela.

Pisos climáticos	Altitudes (MSNM)	Temperaturas medias (°C)	Zona térmica
Caluroso	0 a 850	23 a 28	Megatérmico
Fresco	850 a 1.650	18 a 23	Mesotérmico
Templado	1.650 a 2.500	13 a 18	"
Frío	2.500 a 3.350	8 a 13	Microtérmico
Muy Frío	3.350 a 4.200	3 a 8	"
Gélido	4.200 a 5.000	-2 a 3	"

Fuente: Silva, 1999, 2000, 2002; Silva-León, 2010.

El régimen de precipitación del país muestra 4 estaciones diferenciadas: seco (DEF), transición seco-lluvioso (MAM), lluvioso (JJA) y transición lluvioso seco (SON) (Durán, 2008; Durán & Bravo de Guenni, 2010). Sin embargo, en aplicaciones donde no es preciso la rigurosa diferenciación, las épocas de precipitación se clasifican en dos: seco (DEFMAM) y lluvioso (JJASON) (Martelo, 2003). Se puede considerar que el régimen está dictado por la migración estacional de la Zona de Convergencia Intertropical (ITCZ) en respuesta al ciclo anual de insolación (Poveda *et al.*, 2006). Durante el verano austral la ITCZ está ubicada encima de la Cuenca del Amazonas que incluye el Macizo Guayanés, cerca de los 15°S. Luego migra hacia el norte ubicándose al norte de la costa caribeña, cerca de los 10°N en el verano boreal. La consecuencia más marcada de este proceso migratorio es justamente el régimen de precipitación fuertemente demarcado. En la Región Costera el sistema se complica al considerar los vientos del Este que tienen una fuerte influencia sobre la estabilidad y sequía durante todo el año. El sistema montañoso de la Cordillera Andina tiene una influencia local sobre el clima y el patrón de precipitación. En especial, esta cordillera divide el régimen de lluvia en dos grupos, el primero ubicado al sureste de la misma, que se encuentra bajo la influencia de los vientos alisios, y el segundo ubicado al noroeste de la cordillera que se encuentra debajo de una sombra orográfica y en consecuencia es más seco. Adicionalmente, la variabilidad interanual climática está controlada principalmente por El Niño Oscilación del Sur (ENSO) y en menor grado por la Oscilación del Atlántico Norte (NAO) y la Onda Tropical, entre otros (Martelo, 2003). Anomalías extremas en las épocas de lluvia o sequías están asociadas a los años Niña y Niño respectivamente. En el país se presentan varios escenarios climáticos de acuerdo con el índice hídrico que corresponden a la clasificación de Thornthwaite (Figura I.1.3).

La vinculación entre clima y vegetación se manifiesta en Venezuela de forma evidente. El país está considerado en la región de América Latina y el Caribe (LAC) como país megadiverso, y entre los 17 países del mundo que poseen tal diversidad biológica (<http://www.unep-wcmc.org>). Las características fundamentales de la vegetación en Venezuela han sido estudiadas en detalle, existiendo una literatura extensa que cubre el tema, (Grande *et al.*, 2012; Huber & García, 2011; Medina *et al.*, 2011; Nozawa *et al.*, 2010; Safont *et al.*, 2014). En líneas generales se puede decir que, en Venezuela,

las formaciones vegetales dominantes son los bosques y las sabanas, mientras que la región costera está dominada por manglares y vegetación típica de climas secos o desérticos.

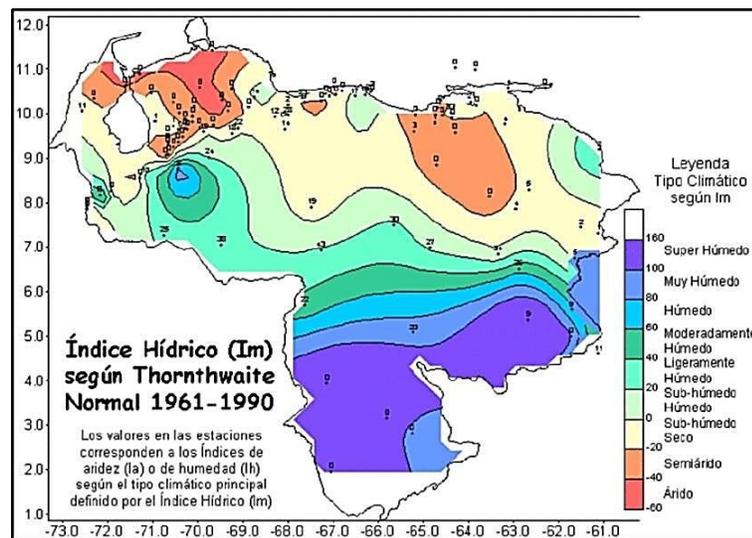


Figura I.1.3 Distribución actual (1961-1990) de los tipos climáticos según Thornthwaite. Fuente: Martelo, 2004.

I.1.2 Información climática disponible

Un componente fundamental para estudiar los cambios climáticos en una región específica es la disponibilidad de datos de variables hidrometeorológicas medidas en estaciones situadas, idealmente, en localizaciones escogidas para lograr la mayor cobertura. Entre las instituciones que poseen redes de estaciones meteorológicas e hidrométricas en el país, se cuenta con el Ministerio del Poder Popular para el Ecosocialismo y el Agua (MINEA), ente que mantiene la red más extensa; el Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), ente que mantiene una red al servicio de las ciencias agrícolas y la actividad agropecuaria a nivel nacional; la Corporación Venezolana de Guayana Electrificación del Caroní (EDELCA); más recientemente, CORPOELEC que mantiene una red de estaciones hidrometeorológicas mayormente localizadas en el estado Bolívar, cuyo fin primordial es la cuantificación de los recursos hídricos de la zona y las variables de decisión para la operación de las centrales del Bajo Caroní; y la Aviación Militar Bolivariana, que mantiene la red nacional más importante al servicio de la aviación venezolana. Desde su fundación, el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH) es el organismo responsable del registro de estaciones hidrometeorológicas y del control de calidad de los datos registrados. En el país, existen alrededor de 2.400 estaciones, pero muchas no se encuentran operativas actualmente (menos del 30% para 2006) (Bravo *et al.*, 2014; Sajo-Castelli *et al.*, 2014), lo que dificulta realizar estudios en el ámbito nacional y hace difícil estudiar los cambios a escalas menores.

I.1.3 Modelos climáticos globales y sus aplicaciones para Venezuela

La circulación general de la atmósfera presenta patrones del movimiento del viento (aire), las masas de aire que ascienden en los trópicos y descienden en otras latitudes hacia el norte o el sur, las tormentas ciclónicas que llevan humedad y energía hacia las latitudes medias, y otros fenómenos globales que influyen en el clima.

Para su estudio se han desarrollado modelos de circulación global (GCM) y el IPCC ha jugado un papel importante en su utilización. Para el año 2005 los resultados de los distintos grupos de modelación eran consistentes mostrando una señal inequívoca del calentamiento por efectos de los gases de efecto de invernadero (GEI).

En el 5to Reporte del IPCC (AR5) (IPCC, 2014), se presentaron evidencias de que otros componentes como las emisiones de carbono negro, tienen un efecto aún más importante en el calentamiento global que el previsto anteriormente.

I.1.4 Comparación entre los modelos globales del proyecto de Intercomparación de Modelos Climáticos

Diversos estudios a partir de las simulaciones de los distintos modelos globales están disponibles para América del Sur, incluyendo Venezuela. Usualmente, previo al análisis de las proyecciones climáticas de los GCMs, las climatologías de estos modelos son comparadas con las climatologías observadas para el período 1961–1990, que representan la climatología del presente. Las simulaciones históricas de los GCMs para el siglo XX son comparadas con las climatologías observadas de precipitación y temperatura, a modo de validación. La no disponibilidad de datos para todos los países, usualmente conlleva a utilizar los datos provistos por la Unidad de Investigación del Clima (Climate Research Unit, CRU, por sus siglas en inglés) de la Universidad de East Anglia, que posee una estimación global de datos históricos de diversos parámetros climáticos, incluyendo precipitación, temperatura y viento. Estos datos son obtenidos a partir de interpolaciones de datos históricos disponibles de un buen número de estaciones climáticas, cuya cobertura espacial no es adecuada para todas las regiones. Se hace una comparación de estos datos con las salidas de los modelos globales de los proyectos CMIP3 y CMIP5 incluidos en el cuarto reporte (AR4) y en el quinto reporte (AR5) del IPCC respectivamente. Estos modelos forman parte del proyecto de Intercomparación de Modelos Climáticos (Coupled Model Intercomparison Project, CMIP por sus siglas en inglés). Los modelos de la versión 5 presentan importantes mejoras con respecto a los modelos de la versión 3, dado que incluyen un acoplamiento más detallado con los océanos, el ciclo del carbono y el efecto de los aerosoles a partir de mejores series de tiempo de los forzamientos radiativos de la actividad solar y volcánica.

I.1

Marengo *et al.* (2014) presentan un análisis inicial sobre las tendencias recientes observadas y los cambios futuros proyectados en el clima y en los eventos extremos para las regiones de Centroamérica y América del Sur. En ese trabajo, se dispuso de un ensamble de 24 modelos del CMIP3 y del CMIP5, haciendo un análisis más detallado por regiones, en las que Venezuela sólo es cubierta en su parte sur en el estado Amazonas (noroeste de América del Sur). Los modelos del CMIP3 representan bien el sistema monzónico de América del Sur y la Zona de Convergencia del Atlántico Sur, caracterizada por la migración de las lluvias máximas de la cuenca Amazónica hacia el sudeste del Atlántico. Sin embargo, hay una sobrestimación de la precipitación en todas las estaciones (excepto en junio-julio-agosto, JJA) en los Andes centrales, con valores mayores a 4 mm por día, y en diciembre-enero-febrero (DEF) sobre el Nordeste de Brasil (1 a 4 mm por día), y una subestimación observada para todas las estaciones en casi toda la cuenca Amazónica, este de Colombia, Venezuela, Guyana, Guyana Francesa, Surinam y América Central ($\approx 1-4$ mm por día).

En cuanto a la temperatura del aire, la climatología de los modelos del CMIP3 es muy similar a los datos observados, con un sesgo que no excede a 1°C sobre casi todo el continente. Sin embargo, se obtienen temperaturas más frías que las observadas en el nordeste y centro occidente de Brasil (excepto para septiembre-octubre-noviembre, SON) y los Andes y México; y temperaturas más altas se observan sobre el nordeste de Argentina (excepto para JJA) y sobre la cuenca Amazónica en SON. La pobre representación de la compleja topografía andina, en casi todos los modelos, puede ser uno de los factores que expliquen estos sesgos.

En el más reciente conjunto de modelos proveniente del CMIP5, al comparar sus climatologías de precipitación con la de los modelos CMIP3, se observan fuertes similitudes entre ambas. A pesar de que en este grupo más reciente de modelos hay una mejor resolución horizontal en comparación con los modelos del CMIP3, no se observa una mejoría en la representación de la climatología de la precipitación en la región andina oeste de América del Sur. Sin embargo, hay una reducción del sesgo en las condiciones secas para el nordeste/norte de América del Sur.

Con relación a la temperatura, se nota una gran similitud en los sesgos que producen los modelos del CMIP3 y CMIP5. Sin embargo, los sesgos cálidos en el este de Amazonas en SON se reducen considerablemente. Hay también una reducción moderada del sesgo sobre los Andes/Oeste del continente para esta nueva versión de los modelos globales. Se observan también mejoras en el ciclo anual de la precipitación y la temperatura simuladas con los modelos CMIP5 en comparación con los modelos CMIP3.

El sesgo de sequía en la media de los ensambles de los CMIP5 se redujo considerablemente en la parte noroccidental de América del Sur y en la cuenca Amazónica en todos los meses del año, pero

aumentó la sobrestimación de la precipitación en el nordeste de Brasil desde enero hasta abril en los CMIP5, en relación a los CMIP3. Sin embargo, se corrigió el mes de retardo en la estación lluviosa que se presentaba en los CMIP3 para el nordeste de Brasil.

I.1.5 Escenarios de emisiones y concentraciones de GEI

Para el estudio del clima futuro, es necesario tomar en cuenta los escenarios de emisiones y concentraciones de gases de efecto de invernadero (GEI) y aerosoles, bajo los cuales serán consideradas las proyecciones climáticas producidas por los GCMs. Para el Tercer Reporte del IPCC del año 2001 se produjo un reporte especial sobre los escenarios de emisiones (SRES, Special Report on Emission Scenarios, por sus siglas en inglés) (Nakicenovic & Swart, 2000). Los escenarios SRES fueron contruidos para explorar futuros desarrollos globales, con referencia especial a la producción de GEI y aerosoles. El equipo SRES definió cuatro narrativas etiquetadas como A1, A2, B1 and B2, que describen las relaciones entre los forzamientos que controlan las emisiones de GEI y aerosoles, y su evolución durante el siglo XXI, a nivel global y para grandes regiones mundiales.

Para el Quinto Reporte del IPCC del año 2014, los escenarios SRES fueron sustituidos por escenarios de concentraciones de GEI, llamados Trayectorias de Concentración Representativas (RCPs, por sus siglas en inglés Representative Concentration Pathways). Se produjeron cuatro RCPs: una trayectoria para la cual el forzamiento radiativo alcanza valores mayores que 8.5 W/m^2 para el año 2100 y sigue incrementándose por algún tiempo; dos caminos intermedios de estabilización, en los cuales el forzamiento radiativo se estabiliza a 6 y 4.5 W/m^2 después del 2100; y un camino final en el cual el forzamiento radiativo llega a un máximo de 3 W/m^2 y decrece antes del 2100. Estos escenarios son aplicables para distintas trayectorias temporales de escenarios de concentraciones de todo el conjunto de distintos GEI, aerosoles, y gases químicamente activos; y también incluyen los escenarios de cambios y usos de la cobertura del suelo.

Utilizando el escenario SRES A1B para el período 2081–2100 relativo al período 1980–1999, y a partir de reporte SREX (IPCC, 2013), se observa un calentamiento general en la región sudamericana medido a través de diversos índices como el incremento en la fracción de días y noches de calor (días en los cuáles la temperatura máxima excede el percentil del 90%, calculado en el período de referencia de 1961–1990 y días en los cuáles la temperatura mínima excede el percentil del 90%, calculado en el período de referencia de 1961–1990, respectivamente); y la disminución de la fracción de días y noches frías (días en los cuáles la temperatura máxima es menor que el percentil del 10%, calculado en el período de referencia de 1961–1990 y días en los cuáles la temperatura mínima es menor que el percentil del 10%, calculado en el período de referencia de 1961–1990, respectivamente). Algunos de estos cambios son aún más intensos en el norte de América del Sur, especialmente en Venezuela.

I.1 Utilizando el escenario de emisiones SRES A2 y un conjunto de modelos contribuyente al CMIP3, Marengo *et al.* (2014) también presentan los resultados para dos índices de sequía: el índice de días consecutivos con precipitación menor a 1 mm, y el de anomalías de la humedad del suelo. Estos resultados son presentados en el reporte SREX (IPCC, 2013). En ambos casos se observan valores extremos importantes para Venezuela, especialmente para las anomalías de humedad del suelo proyectado para los períodos 2046–2065 y 2081–2100, relativo al período 1980–1999.

Cada uno de los modelos CMIP5 para el escenario RCP8.5, sugiere un calentamiento para las estaciones DEF y JJA durante el período 2071–2100. Algunos modelos muestran más calentamiento que otros, pero en general la parte norte de América del Sur incluyendo la región Amazónica, es una de las zonas con cambios más extremos. Para la precipitación se obtiene algún consenso entre los modelos CMIP5 para el escenario RCP8.5, donde se observa una reducción de la precipitación sobre América Central y el Caribe.

I.1.6 Comparación de las proyecciones de los modelos climáticos globales para Venezuela

Los resultados presentados por Marengo *et al.* (2014), siguen siendo muy gruesos a nivel de país, y aún no existen estudios recientes sobre un análisis más detallado de intercomparación de modelos globales para Venezuela. Los estudios más recientes se presentan en Martelo (2004) y en Durán & Bravo de Guenni (2010). En Martelo (2004) se utilizó la herramienta del MAGICC-SCENGEN (Hulme *et al.*, 2000) para obtener simulaciones de los 16 modelos globales del Tercer Reporte del IPCC (modelos del CMIP2). De este grupo de modelos se seleccionaron dos modelos globales: el UKTR (United Kingdom Meteorological Office) y el CCC-EQ (Canadian Center for Climate Modelling and Analysis).

Aunque la mitad de los modelos del MAGICC-SCENGEN simularon cambios positivos en la precipitación para Venezuela, un alto porcentaje simuló como seco el trimestre de la época lluviosa (junio-julio-agosto), así como también el trimestre de salida de aguas (septiembre-octubre-noviembre). Para el análisis de los modelos globales seleccionados Martelo (2004) utilizó tres combinaciones de escenarios de emisiones de gases de efecto de invernadero (SRES B1, SRES B2, SRES A2) con tres niveles de sensibilidad climática: Baja (1.5°C), Media (2.5°C) y Alta (4.5°C), respectivamente. A estas combinaciones se las llamó escenario climático optimista, intermedio y pesimista (Martelo, 2004) respectivamente. Se obtuvieron los resultados de las simulaciones para 30 años de datos centrados en los años 2020, 2040 y 2060. El país fue dividido en 9 grillas rectangulares como se indica en la [figura I.1.4](#).

Las mayores diferencias entre ambos modelos se presentan en la zona norte del país (grillas 1, 2 y 3), donde el modelo UKTR simula un futuro más seco, y el modelo CCC-EQ un futuro más lluvioso. Los cambios de temperatura promedio anual varían entre +0.3°C para el año 2020 para el escenario optimista, hasta +3.5°C para el 2060 para el escenario más pesimista.

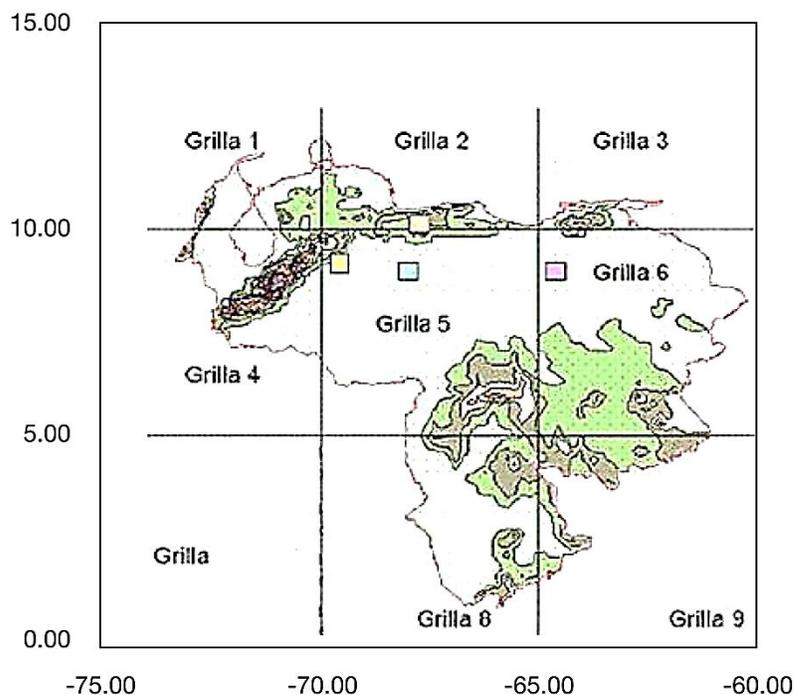


Figura I.1.4 Grillas utilizadas para la simulación de los GCMs. Fuente: Martelo, 2004.

También se han hecho otras comparaciones en las proyecciones futuras para la precipitación y la temperatura del aire, utilizando las salidas de los modelos contribuyentes al Tercer Reporte del IPCC (Durán & Bravo de Guenni, 2010). Los autores tomaron las salidas de los 16 modelos climáticos globales considerados en la Primera Comunicación Nacional de Cambio Climático (CNCC) del país del año 2005, a una escala de 5°x5°, y combinaron las proyecciones de todos los modelos utilizando la metodología del Reliability Ensemble Average (REA) propuesta por Tebaldi *et al.* (2005) mediante un enfoque Bayesiano. La idea de combinar distintos modelos es proveer una estimación de la incertidumbre asociada a las diferentes proyecciones provistas por cada modelo. Se supuso una sensibilidad climática intermedia y un escenario de emisiones SRES A2, de acuerdo con los resultados de la Primera CNCC. Se utilizaron los datos históricos de precipitación y temperatura obtenidos de la Red Regional Digital de Datos Hidrometeorológicos para América del Sur, América Central y el Caribe (R-Hydrone: <http://www.r-hydronet.sr.unh.edu>). Las proyecciones del clima futuro fueron consideradas para tres horizontes de tiempo en períodos de 30 años centrados en el año intermedio: 2025 (2015–2039), 2050 (2035–2064) y 2100 (2085–2114). En todas las simulaciones los mayores cambios de temperatura se encuentran en la grilla 9 que corresponde al Sureste de Venezuela y donde se localizan

las mayores reservas de agua para la generación hidroeléctrica. En cuanto a la precipitación, los resultados señalan una alta incertidumbre en las proyecciones futuras, mientras que para la temperatura la incertidumbre es menor.

Aunque las variables de precipitación y temperatura del aire son las más estudiadas en este tipo de análisis, existen otras variables climáticas con gran interés de estudio, como lo son la radiación solar y la velocidad del viento. Ambas variables son importantes para estimar la potencia de energía solar y energía eólica como fuentes renovables. Rebolledo (2013), utilizó las salidas de los modelos globales UNKO-HAD-CM3 y ECHAM5-MPI, obtenidas del geo-portal del Programa de Investigación sobre Cambio Climático, Agricultura y Seguridad Alimentaria, conocido por sus siglas en inglés como (CCAFS, <http://www.ccafs-climate.org>), en su estudio para determinar las condiciones futuras de la radiación solar y velocidad del viento en Venezuela. El autor utilizó para el estudio del potencial de energía eólica, el escenario A1B que está ubicado a medio camino entre un futuro pesimista y un futuro optimista. Para el estudio del potencial de energía solar, utilizó un escenario A2 siendo este un escenario más pesimista. Los resultados muestran que para el norte del río Orinoco en los períodos 2000–2030, 2030–2050 y 2050–2080, ambas fuentes de energía se verán favorecidas por los efectos del cambio climático en el siglo XXI, con posible incremento del potencial eólico, siendo las regiones más favorables el norte del estado Falcón y el Golfo de Venezuela. También se identifica una región con alto potencial de desarrollo eólico al sur de los estados Monagas y Anzoátegui. En el caso de la energía solar, los resultados presentan una variabilidad significativa. Se observa un incremento sostenido del potencial de energía solar durante la primera parte del siglo XXI, hasta el año 2030. A partir de allí se esperan disminuciones hacia finales del siglo XXI, sugiriendo que el potencial energético solar es altamente dinámico en términos espaciales.

I.1.7 Modelos climáticos regionales y sus aplicaciones para Venezuela

Dado que los Modelos de Circulación Global (GCM) tienen una baja resolución espacial, estos no permiten una evaluación precisa de los impactos y las vulnerabilidades, por ello se utilizan Modelos de Circulación Regional (RCM), que toman las condiciones de borde de los GCM y tienen una resolución espacial de aproximadamente 50 km^2 (0.50×0.50).

Un RCM que ha sido satisfactoriamente usado en aplicaciones para Venezuela fue desarrollado en la Universidad Estatal de Pennsylvania (The Pennsylvania State University, PSU) y es conocido como el NCAR Mesoscale Model Version 4 o (MM4), cuyas especificaciones detalladas se encuentran en Hsie *et al.* (1987). Este modelo particular fue utilizado para simular la circulación atmosférica en la zona Amazónica, de gran interés debido al impacto causado por la lluvia tropical. Horel *et al.* (1994), utilizan este modelo para investigar los procesos que controlan la circulación sobre la cuenca del Amazonas y

en especial prestan atención a la habilidad del modelo para predecir un clima razonable a corto plazo. Para lograr estos resultados, los autores realizaron algunas modificaciones importantes al código original del MM4.

Otro modelo que ha sido utilizado, en particular por el Centro Brasileiro para Pronósticos y Estudios del Clima (CPTEC), es el modelo Eta con el que se han realizado pronósticos del clima en América del Sur desde la década de los sesenta. Chou *et al.* (2004), usan este modelo para hacer pronósticos de la vaguada ocurrida en el estado Vargas en diciembre de 1999. El evento se predijo con 24, 36, 48 y 60 horas de anticipación. Las condiciones iniciales y de contorno se tomaron de las resoluciones espectrales de los modelos globales T62 y T126. Se consiguió que el incremento de la condición inicial y las condiciones de borde fue crucial. El modelo Eta, tomando las condiciones del modelo T62, subestimó la precipitación, mientras que utilizando el modelo T126 la precipitación cuantitativa fue pronosticada con más cercanía. El aumento de la resolución en las condiciones iniciales y de límite generaron condiciones más favorables, lo que causó un incremento en el suministro de humedad. Como se explica en Marengo *et al.* (2014), este modelo es apropiado para regiones de orografía empinada tal como la Cordillera de los Andes. También se ha utilizado para investigar la predictibilidad de la lluvia a diversas escalas de tiempo como, por ejemplo, a escala estacional, mensual o semanal.

Berbery & Collini (2000) utilizaron un modelo Eta para estudiar la precipitación y el flujo de evaporación en América del Sur donde nuevamente se destaca la habilidad de este modelo para ajustar valores en el tipo de regiones de orografía empinada. Para estudiar el futuro del clima en el Caribe, un grupo de investigadores jamaquinos han usado el modelo regional PRECIS. Como explican Campbell *et al.* (2010), el RCM PRECIS es un modelo de *downscaling* dinámico, que puede ser fácilmente aplicado a cualquier área del globo terráqueo para generar proyecciones detalladas de cambios en el clima. Taylor *et al.* (2013), han utilizado una aplicación de este modelo que incluye buena parte del territorio nacional.

En el estudio de los efectos del cambio climático en el siglo XXI sobre la lluvia en la selva amazónica de Cook & Vizy (2007) el RCM usado es la quinta generación del modelo generado por PSU, que es conocido como MM5. El objetivo en esa investigación fue acoplar el modelo MM5 con un modelo de vegetación potencial PVM para investigar los efectos por el calentamiento global, no sólo sobre el clima sino también sobre la vegetación de la región. Un comentario de importancia es que no existe una metodología estandarizada para el estudio de climas futuros usando RCMs, ya que no hay una forma específica de como escoger las condiciones de borde, y cuáles condiciones iniciales deben utilizarse. Para algunos modelos RCM, las condiciones iniciales y de borde corresponden al GCM al cual está asociado. Sin embargo, la motivación para utilizar RCMs para estimar los cambios climáticos es que proporcionan información específica útil de una región, lo cual permite desarrollar estrategias para

reducir los impactos del cambio climático. Vizy & Cook (2006) también presentan otro modelo para estudiar la relación entre la lluvia en las zonas altas de los Andes y el Amazonas. Los autores deseaban saber si se mantiene una relación que se había encontrado por medio de paleo-pruebas que sugiere que los Andes solían ser húmedos y el Amazonas seco durante ese período. Utilizando observaciones para 1984, 2002 y 2003 consiguen que sí hay mecanismos identificados en el modelo paleoclimático que se pueden observar en el clima actual.

I.1.8 Estudios de *downscaling*, modelos estocásticos y dinámicos para el clima en Venezuela

Más allá de los Modelos Climáticos Regionales (RCM) utilizados como métodos de *downscaling* dinámico, se utilizan también técnicas de *downscaling* estocástico para producir escenarios climáticos a nivel local. En la forma más sencilla, la idea del *downscaling* estocástico comprende alguna clase de mapeo entre variables predictoras a gran escala X y el valor esperado de un predictando a escala local Y :

$$E[Y | X] = f(X, \beta) \quad (I.1.1)$$

Donde f es una función que relaciona las variables climáticas a gran escala con las variables climáticas locales, y β es un vector de parámetros desconocidos a ser estimado para calibrar el esquema de reescalamiento (Maraun *et al.*, 2010).

Varios grupos de investigadores del clima usan métodos distintos de *downscaling*. Por ejemplo, Schmidli *et al.* (2007) usan seis métodos de *downscaling* estocástico para los Alpes europeos. Busuoi *et al.* (2001) emplean un Análisis de Correlación Canónica (ACC) para corroborar cuán bien un modelo GCM HadCM2 simula la precipitación en Suecia. Sansó & Guenni (2004) toman la salida de un RCM para reescalar usando un modelo normal truncado y obtener estimaciones puntuales de lluvia a partir de observaciones areales, para luego compararlas con las observaciones en tierra para una localidad en Nebraska. Para Venezuela, Guenni & Loreto (1998) utilizan un método de máxima verosimilitud condicional combinado con el criterio de información bayesiano para estimar la representación periódica de los parámetros de un modelo estocástico de precipitación. La variabilidad espacial de los coeficientes periódicos del modelo es estudiada para la región de Guárico, generando mapas de los parámetros del modelo usando *splines*, lo cual permite simular la precipitación en cualquier localidad en la región de estudio, lo cual resuelve un problema de reducción de escala. Mendes *et al.* (2014) aplican un modelo de ANN para obtener una predicción regional y local del clima en la región Amazónica.

I.1.9 Influencia de El Niño sobre Venezuela: Modelaje e impactos

El Niño es un fenómeno climático que ha sido estudiado de manera exhaustiva durante las últimas décadas y es considerado actualmente como uno de los mecanismos más importantes de variabilidad climática estacional y decadal en el mundo y específicamente en la América del Sur tropical. Dicho fenómeno se refiere al calentamiento inusual de la superficie del mar (SST) a lo largo del Pacífico Tropical Central y Oriental (Figura I.1.5, superior). Asociado a esta anomalía, ocurre un hundimiento de la termoclina oceánica al este del Pacífico y un debilitamiento de los vientos alisios. Durante un evento El Niño (Figura I.1.5, inferior) se da un cambio del centro de convección desde el Pacífico Occidental hacia el Central, además de una oscilación meridional caracterizada por el Índice Meridional de Oscilación (SOI) y que se manifiesta como un “balancín” de la masa atmosférica que produce un gradiente de presión entre el Pacífico ecuatorial occidental y el oriental. Los valores negativos del SOI están asociados con eventos cálidos, El Niño, mientras que los valores positivos están asociados a eventos fríos, La Niña.

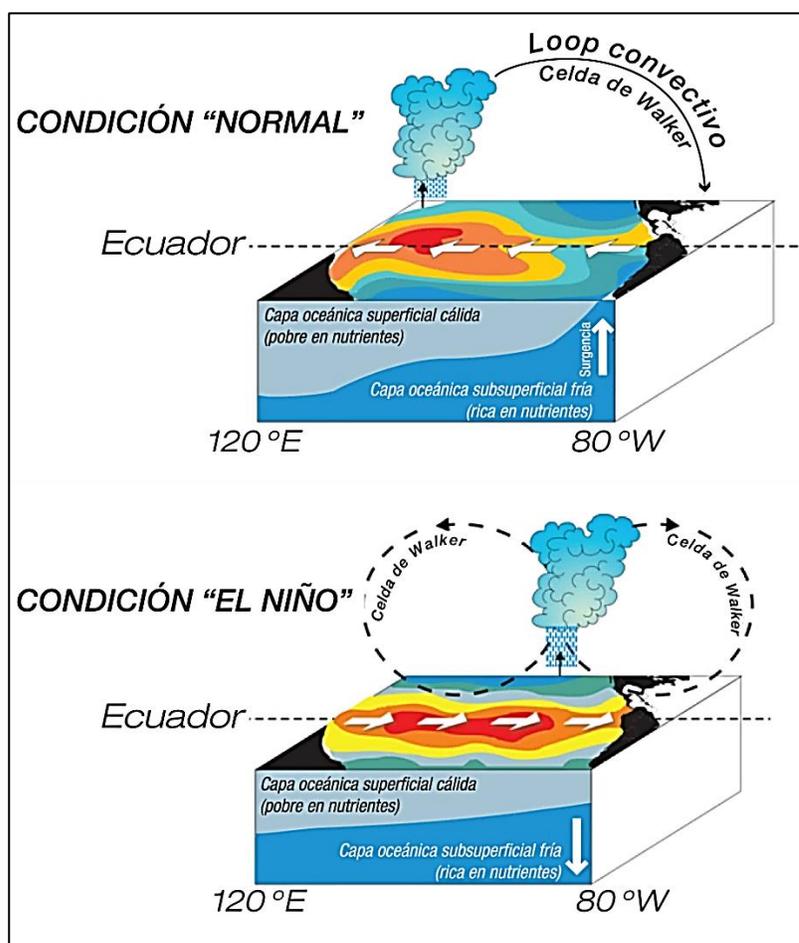


Figura I.1.5 Condiciones normales de El Niño en el Océano Pacífico. Figura adaptada de SHOA, recuperada de <http://www.shoa.cl/nuestros-servicios/mareas/54-servicios/753-enos-fenomeno-de-el-nino>

I.1 Si bien históricamente se puede observar a través de importantes estudios que dan cuenta de la evolución del Niño y de la Niña, ciertas tendencias que confirman sus efectos en el territorio nacional. En algunos países como Ecuador, Perú y Colombia, se han encontrado correlaciones claras entre la evolución de las anomalías oceánicas de la temperatura de la superficie del mar en el Pacífico Ecuatorial, las anomalías meteorológicas de la presión en el mismo Pacífico (Índice Oscilación Sur) y las anomalías en el régimen de lluvias, internamente en el ámbito regional los efectos no son similares en todos ellos, sino que dependen de factores orográficos, distribución de mares, continentes y otros. Por esta razón, se observan diferentes respuestas a las señales macroclimáticas originadas en el Pacífico (CAF, 2000).

Venezuela por su parte, es el país andino que está más débilmente influenciado por el ENSO, debido principalmente a que su sistema normal climático tiene una menor dependencia del Océano Pacífico (CAF, 2000). Mo & Berbery (2011), realizan simulaciones con modelos de la U. S. Climate Variability and Predictability (CLIVAR) a fin de examinar los eventos de precipitación extremos en América del Sur. Los modelos resultantes capturan de forma satisfactoria diversas variables climáticas (ENSO, SSTA, etc.). Entre los resultados, se reporta que el frío (cálido) ENSO favorece la humedad (sequía) sobre Venezuela, Colombia y el noreste de Brasil y sequía (períodos húmedos) sobre el sureste de América del Sur y el sur de Argentina. Las simulaciones muestran que cuando el ENSO y el índice del Atlántico tropical Norte (NTA) actúan en sincronización, los efectos pueden llegar a ser notables en distintas zonas del continente, a medida que cambia la probabilidad de sequía y períodos húmedos persistentes en diferentes regiones de América del Sur. El impacto es fuerte cuando el ENSO y el NTA están en fases opuestas. Para la fase fría (cálida) en el Pacífico y cálida (fría) en el Atlántico, las sequías (períodos húmedos persistentes) se intensifican sobre el sureste de América del Sur, mientras que en períodos húmedos persistentes (sequías) se ven favorecidos por la parte norte del continente. Los cambios en los patrones son regionales y de menor intensidad en comparación cuando ambos océanos son cálidos (o fríos).

Electrificación del Caroní C. A. (EDELCA, 1992) realizó estudios sobre el caudal del Caroní de las variables macroclimáticas (VM) como: SOI, QBO, Radiación Saliente de Onda Larga, temperatura del Atlántico Tropical Sur (ATS) y varios índices del campo de presión en superficie. Los análisis determinaron que un ATS frío parece estar relacionado con la temporada lluviosa mayo–octubre deficitaria sobre Guayana (Comisión Nacional de Meteorología e Hidrología, 1998). Por otra parte, en el informe de la Comisión Nacional de Meteorología e Hidrología (1998) se concluye que el efecto del ENSO es mayor durante la temporada seca e inicios de la temporada lluviosa, pero es muy difícilmente detectable durante la plena temporada lluviosa en junio-julio-agosto. Esta evidencia coincide con hechos observados en todo el mundo.

Martelo & Rojas (2000) reportan que un alza en la temperatura superficial del Atlántico Tropical Norte (ATNOR) tiende a asociarse en las regiones centro-norte y oriental con inicios tempranos de la temporada lluviosa, mientras que un ATNOR frío tiende a asociarse con inicios tardíos de la temporada lluviosa; hacia el occidente. El ATNOR no parece tener tanta influencia como el Pacífico en la fecha de inicio de la temporada lluviosa.

Los organismos relacionados con la investigación de los efectos de El Niño sobre el sistema climático de Venezuela han trabajado fundamentalmente sobre la descripción de las condiciones durante el evento, pero no se ha avanzado hasta poder desagregar influencias específicas sobre los grandes sistemas sinópticos (posición de la Alta Presión Tropical, la Zona de Convergencia Intertropical (ITCZ), la ocurrencia de Ondas del Este, Vaguadas o Frentes Fríos) o sobre las características en el Caribe y el Atlántico (CAF, 2000).

Guenni *et al.* (2002) en un trabajo sobre VM realizan un análisis detallado de la relación entre las precipitaciones y varias variables océano-atmosféricas en gran escala para determinar el uso potencial de la información climática como predictores de las anomalías de precipitación sobre la cuenca del Caroní, en el estado Bolívar. Se observan patrones consistentes con el Atlántico Tropical y anomalías de la temperatura del océano Pacífico, en la que una relación negativa significativa ha estado presente desde 1976, lo que indica una disminución global (aumento) de las precipitaciones, cuando el Pacífico y el Atlántico tropical son más cálidos (más fríos) de lo normal. En todos los casos los resultados sugieren que las relaciones entre las anomalías de precipitación y las variables macroclimáticas no son constantes en el tiempo.

Cárdenas (2002) describe el impacto de los eventos ENSO sobre el clima de Venezuela a través de la precipitación y la temperatura. Resalta la existencia de anomalías negativas de lluvia (déficit) asociadas a condiciones de eventos ENSO en la mayor parte del país, así como temperaturas más cálidas en presencia de estos eventos en todo el territorio. Si bien se conocen las anomalías positivas de temperatura del aire en todos los meses, existen diferencias entre los meses del año, con el período de noviembre a febrero con anomalías promedios muy acentuadas y en el mes de diciembre se presenta el mayor impacto con áreas de mayor aumento de la temperatura en el Este del país. El autor encuentra que existe al menos otro elemento climático de gran escala, la Oscilación Quasi-Bianual (QBO), el cual modula los efectos del ENSO sobre la lluvia en Venezuela. Esta oscilación puede influenciar la disminución o el aumento de las anomalías inducidas por el ENSO en diferentes estados de este elemento.

Guevara *et al.* (2007) analizan la influencia de las VM sobre el patrón pluviométrico del estado Cojedes, concluyendo que las variables ASST-Norte, o temperatura del Atlántico Subtropical norte y la

PSST, correspondiente a la temperatura mensual superficial del Pacífico en las regiones El Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4 y Niño 4, ejercen influencia en diferentes grados sobre el régimen pluviométrico del referido estado. El grado de correlación es significativamente alto, especialmente entre la precipitación y las variables ASST-Norte, ASST-Sur y El Niño 1+2. *Pierre & Tirado (2007)* estudian la influencia del fenómeno ENSO sobre la cantidad y distribución de la precipitación en la cuenca del río Yacambú y la Depresión de Quíbor, y analizan los datos anuales y mensuales de cantidad de precipitación para determinar las variaciones durante los fenómenos de El Niño y La Niña con relación a los años normales (sin evento). Concluyen que para la cuenca del río Yacambú, El Niño tiene influencia positiva sobre la precipitación y La Niña una influencia negativa. Para la depresión de Quíbor, El Niño tuvo un efecto negativo y La Niña no mostró influencia significativa.

Guenni et al. (2008) consolidan los datos históricos del clima nacional y presentan un análisis de la calidad de la información disponible. Presentan un resumen de la variabilidad observada. Concluyen que si las tasas de disminución de la precipitación (pendientes negativas) observadas en años recientes se mantienen en el futuro, en unos 50 años se proyecta una reducción de 50 a 100 mm de precipitación anual promedio en la zona norte costera y en gran parte de la región andina. Sin embargo, en una situación de cambio climático es posible que estas tasas de cambio se incrementen aún más. Además, las pendientes negativas también pueden ser una evidencia de una mayor actividad del fenómeno ENSO en años recientes. Esto es una posibilidad dado el impacto negativo de la fase caliente de ENSO sobre la precipitación de la región norte de América del Sur (*Poveda et al., 2006a*).

Por su parte, *Sequera (2009)* realiza un estudio estadístico para medir el grado de influencia del fenómeno El Niño en Venezuela, con las VM más importantes (ENSO, SOI, índice de Oscilación del Atlántico Norte y SSTA) sobre la variable precipitación. En este estudio se reporta que la precipitación en Venezuela parece estar influenciada en los trimestres julio-agosto-septiembre y enero-febrero-marzo por el calentamiento inusual de las aguas del Pacífico Central Ecuatorial reflejados en las regiones de dependencia asociadas a los índices que describen este fenómeno (SOI, índice asociado a las anomalías de la temperatura de la superficie del mar en el Pacífico Central en la región Niño 3.4 (PSST) y ENSO). Estos resultados coinciden con estudios previos realizados sobre este tema incluyendo los trabajos de *Giannini et al. (2000)* y *Poveda et al. (2006a)*. Asimismo, la dependencia en el trimestre abril-mayo-junio viene reflejada únicamente por el índice SSTA (Anomalías de la Temperatura de la Superficie del mar en el Atlántico) lo cual es consistente con el trabajo de *Giannini et al. (2000)* en el cual se explica que las altas precipitaciones durante este trimestre vienen asociadas al calentamiento inusual de las aguas del Atlántico Norte que es consecuencia directa del fenómeno El Niño.

Paredes & Guevara (2010) desarrollan y evalúan un modelo para la predicción temprana de sequías meteorológicas en los llanos venezolanos. El modelo hace uso de VM oceánicas y atmosféricas

como variables predictoras. El modelo estima el índice de sequía SPI3, anomalías mensuales, temperatura superficial del Océano Atlántico Norte, temperatura superficial del Océano Atlántico SUR, SOI, NIÑO 4, temperatura superficial del Océano Pacífico en la región Niño 3.4 y el número de manchas solares visibles. Hace uso de 13 regiones homogéneas según la severidad del período seco anual (Figura I.1.6). El estudio revela que las anomalías mensuales ATLN, ATLS, SOI, NINO4 y SUNSPOT son las mejores variables predictoras del índice SPI3 en los llanos y, por ende, de la ocurrencia de condiciones atmosféricas secas o muy secas. Esta peculiaridad, hace posible la emisión de alertas tempranas de sequías meteorológicas para un trimestre en particular en las regiones, con una probabilidad de detección de al menos 45%.

Monasterio *et al.* (2011) investigan la influencia del fenómeno ENSO sobre la cantidad y distribución de la precipitación y la productividad del maíz (*Zea mays* L.) en el estado Yaracuy, durante 1950–2009. El estudio reporta que la distribución de la precipitación en el ciclo de siembra del maíz (entre los meses abril-septiembre) es la responsable de la variabilidad en el rendimiento del cultivo, independientemente del ENSO que ocurra.

Finalmente, Tim & Guenni (2016) realizan un estudio sobre la influencia oceánica en la precipitación de Venezuela bajo el clima actual y futuro. Las influencias oceánicas del Pacífico y el Atlántico sobre los datos de lluvias observacionales de estaciones meteorológicas en Venezuela se analizan utilizando el Análisis de Correlación Canónico (ACC) ejecutado en la herramienta de predicción del clima. El ACC se lleva a cabo además sobre los datos de lluvia y temperatura de la superficie de los mares obtenidos del Instituto Max Planck para el Modelo del Sistema Terrestre de Meteorología (MPI-ESM) para períodos históricos (1951-2010) y futuros (2041-2100). Para el ACC se utilizan cuatro regiones oceánicas (Atlántico Norte Tropical, Niño 3, Niño 3.4 y un área que incluye las tres anteriores) utilizando datos de la variable de temperatura ERSST (Extended Reconstructed Sea Surface Temperature, por sus siglas en inglés). Los datos de precipitación provienen del Estado Vargas (región costera) y el Estado Bolívar (región continental); y los períodos secos y húmedos son clasificados como período temprano y período tardío. El estudio presenta varias conclusiones: el océano tiene más influencia en el patrón de la precipitación en la región continental del país que en la costa; la influencia del Pacífico es más fuerte en el período seco que en el húmedo, mientras que la influencia del Atlántico es más fuerte en el período húmedo para regiones internas (Estado Bolívar); el ACC aplicado a los datos del modelo proporciona los coeficientes de correlación más altos en el último período húmedo para todas las regiones oceánicas; finalmente, en la mayoría de los casos, el Atlántico Norte Tropical tiene una influencia más fuerte que las regiones del Niño.

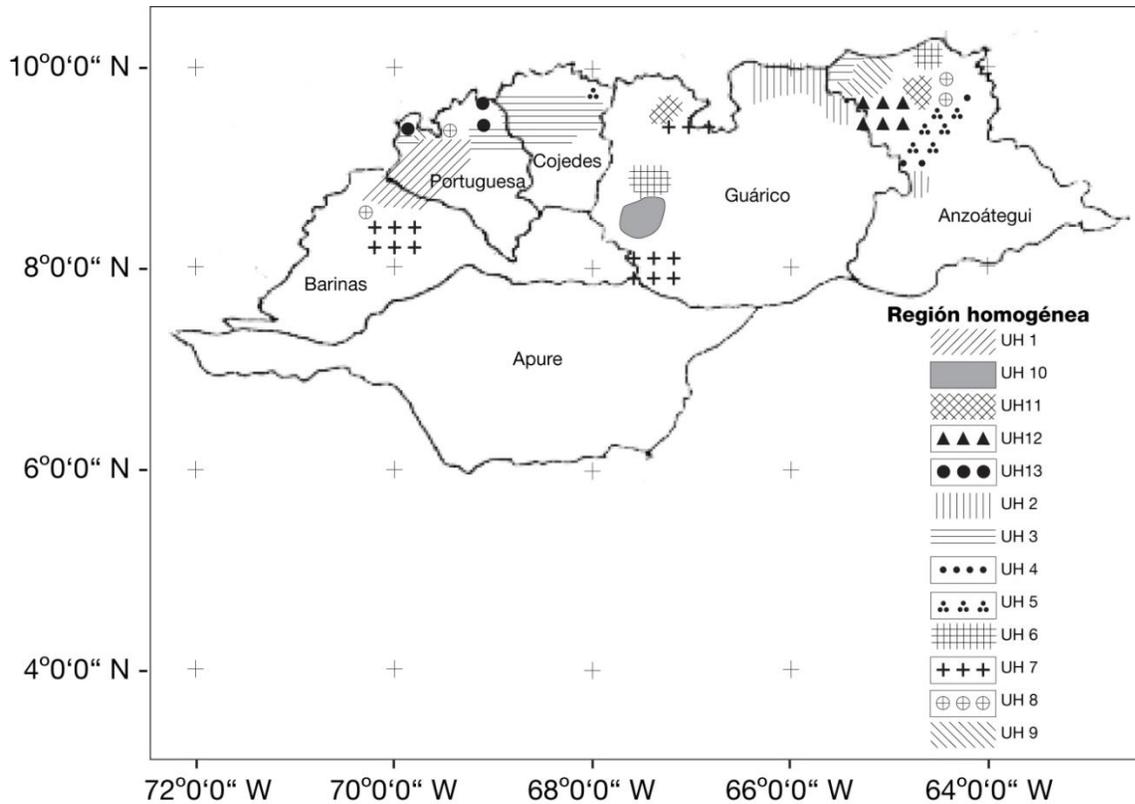


Figura I.1.6 Regiones homogéneas de la magnitud de la sequía anual en el período 1961–1996 en los Llanos de Venezuela. Fuente: Paredes y Guevara, 2010.

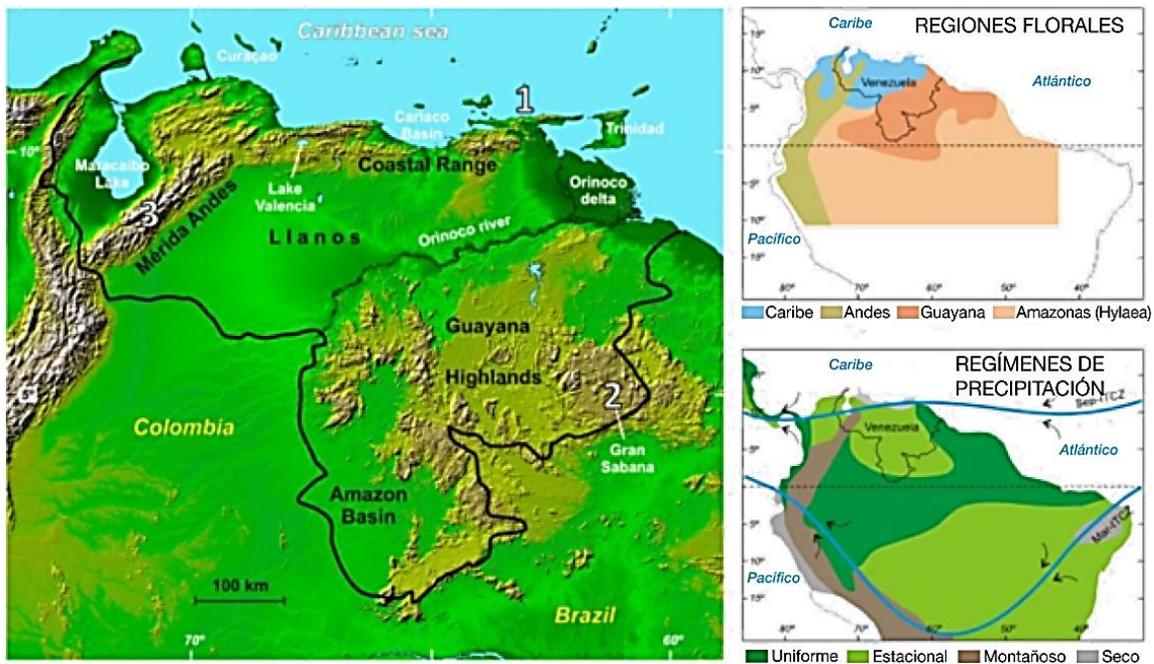


Figura I.1.7 Ubicación de los sitios de mayor interés paleoclimático en Venezuela. En sentido horario desde la izquierda: ubicación geográfica de los sitios de mayor interés paleoclimático. Se resaltan: Fosa de Cariaco, Delta del Orinoco, Macizo Guayanés (Gran Sabana y Cuenca Amazónica), Llanos centrales, Cordillera de los Andes y el Lago de Valencia. En el siguiente cuadro se muestran las distintas regiones florales y el último cuadro presenta el régimen de precipitación asociado al ITCZ. Figura V. Rull, en Montoya *et al.*, 2012.

I.1.10 Estudios paleoclimáticos en Venezuela

La importancia de entender y apreciar el rol del paleoclima en el estudio del cambio climático viene reforzándose desde el Cuarto Reporte del IPCC del año 2007 (Solomon *et al.*, 2007). Los estudios paleoclimatológicos documentan las perturbaciones climáticas de un pasado. Estos estudios se basan en el uso de análogos para efectuar pronósticos de futuros escenarios de cambio climático. Dentro de la rama de Paleoclimatología referida a Venezuela, se ha invertido un gran esfuerzo en estudiar el período Cuaternario, período que abarca desde 2,58 millones de años hasta el presente. Estos estudios no solo están orientados en las áreas principales como paleoclima y paleohidrometeorología, sino también hay trabajos publicados recientemente en áreas como: paleoecología (Bush *et al.*, 2011; Montoya, 2011), paleoflora (Ricardi-Branco, 2008), paleogeografía (Laya & Tucker, 2012), impactos de la ocupación temprana humana, el uso temprano de las tierras o la evolución del paisaje debido al uso del fuego (Montoya, 2011; Montoya *et al.*, 2011a, 2011b).

Venezuela tiene un conjunto de localidades que han resultado muy atractivas para el estudio paleoclimatológico, debido a que en estas localidades se han extraído secuencias paleoambientales representativas del Caribe Neotropical (Rull *et al.*, 2010). Las principales localidades estudiadas incluyen la Fosa de Cariaco, los Andes Venezolanos, el Lago de Valencia, Guayana y la Gran Sabana. Los llanos al norte del río Orinoco también han demostrado ser zonas de interés (Figura I.1.7). Debido a su localización geográfica, Venezuela presenta una variedad de condiciones fisiográficas, climáticas y biogeográficas. Esta heterogeneidad espacial se revela a través de reconstrucciones paleoclimáticas interesantes y complejas.

Para el estudio e interpretación paleoclimática del Cuaternario se usa la técnica de análogos modernos que es ampliamente reconocida. En Venezuela el uso de esta técnica se inició con el trabajo clásico de Muller en 1959 en el Delta del Orinoco, quien estudió los patrones de sedimentación de polen y esporas para reconstruir, por analogía, secuencias paleoclimáticas de la región.

Braun & Bezada (2013) describen la historia de la desaparición de los glaciales y entre sus resultados concluyen que la retirada glacial en Venezuela es similar a otros países de América del Sur y es consistente con los impactos esperados del cambio climático. Ricardi-Branco (2008) caracteriza la paleoflora nacional y describe las similitudes con la del norte de África y de regiones del hemisferio norte durante el Pérmico Inferior. Los registros dan evidencia de una estrecha relación entre las plantas de Pangea Central y las de Gondwana. Montoya *et al.* (2012) recopilan y analizan trabajos que utilizan muestras de palimorfos sin polen (NPP) en Venezuela. En especial, discuten análogos modernos de sedimentos de superficie y secuencias que combinan polen y esporas con los análisis NPP disponibles.

Con respecto a los estudios de impacto regional, existe una variedad relativamente extensa que involucra a Venezuela. Por ejemplo, Hillesheim *et al.* (2005) describen a nivel regional el cambio de clima del Neotrópico durante el Desglacial Tardío y el Holoceno Inferior. El trabajo reporta un registro detallado de los cambios en disponibilidad de humedad durante la última parte del Holoceno Inferior (desde 11.250 hasta 7.500 cal años AP). Los resultados indican un aumento gradual en la humedad. Este cambio se infiere en base a muestras de núcleos de sedimentos (Lago de Petén Itzá, Guatemala y de la Fosa de Cariaco), registros de Titanio (Fosa de Cariaco), muestras de agua de glaciales derretidos (Golfo de México) como entre otros. Lachniet & Vazquez-Selem (2005) reportan las líneas de altura de equilibrio glacial (ELA) para el Caribe durante Último Glacial Máximo (UGM). Este trabajo intenta determinar los paleoglaciales en México, Guatemala, Costa Rica y Venezuela. En cuanto a los paleoglaciales aún no datados, los autores tentativamente correlacionan con fechas de sitios que comparten similitudes morfológicas y de patrones de erosión.

Dado que todo trabajo paleoclimático de envergadura mundial impacta directamente o indirectamente a Venezuela, se hace referencia a algunos trabajos que usan muestras provenientes de Venezuela o que contrastan con resultados de estudios en el país. Garreaud *et al.* (2009) documentan las características principales del clima y su variabilidad en América del Sur a partir de observaciones claves recolectadas durante el siglo XX. La idea de este trabajo es proporcionar una referencia base moderna para estudios paleoclimáticos de América del Sur, con especial énfasis en proxis (indicadores indirectos) de alta resolución sobre los siglos recientes. El trabajo de Overpeck & Cole (2006) describe el cambio abrupto en el sistema climático mundial. La evidencia del cambio para la región tropical está basada parcialmente en la dinámica del ITCZ. Entre las muestras para inferir dicha dinámica, se cuenta con muestras provenientes de la Fosa de Cariaco. Fichtler *et al.* (2010), presentan series de tiempo para anillos de árboles tropicales usando el isótopo estable $\delta^{13}\text{C}$. El estudio examina la variabilidad intra e inter anual del patrón del isótopo en varias especies de árboles tropicales y analizan la relación entre las series de tiempo de $\delta^{13}\text{C}$ y precipitación. Muestran que las especies en el trópico presentan variabilidad del isótopo similar a las especies de árboles de zonas templadas.

Un buen conocimiento del clima y biota actual es clave para entender los posibles cambios y procesos del pasado (Rull *et al.*, 2010). En las secciones siguientes se describen algunos trabajos sobre paleoclima realizados en el país, en la Fosa de Cariaco, los Andes, la región de Guayana, la región costera y el Delta del Orinoco.

I.1.10.1 Fosa de Cariaco

La Fosa de Cariaco es la zona más importante para los estudios paleoclimatológicos en Venezuela, y se ha estudiado desde 1995. Se ubica al norte de las costas de los estados Miranda,

Anzoátegui y Sucre, al sur de la isla de la Tortuga, al este de Cabo Codera (estado Miranda) y al oeste de la Península de Araya (estado Sucre). La Fosa es un hundimiento de la corteza terrestre, formada por dos grandes depresiones que alcanzan los 1.400 metros de profundidad. Existen cuatro ríos contribuyentes principales: Tuy, Unare, Neverí y Manzanares (Figura I.1.8). La Fosa de Cariaco acumula sedimentos que se han ido depositando en forma de láminas desde el último período glacial. Los sedimentos extraídos y estudiados han producido la serie paleoclimática con mayor número de registros en Venezuela y es la base usada para la calibración de datación radio-carbónica (Hughen *et al.*, 1998).

De los estudios de Thunell *et al.* (2000 y 2004) se sabe que las características de los sedimentos del fondo de la fosa presentan una estrecha relación con el ciclo ITCZ. Durante la temporada lluviosa los sedimentos depositados están compuestos mayoritariamente por elementos de origen terrestre (transportados por los ríos) y materia orgánica. Estos sedimentos forman un estrato oscuro de minerales. Durante la temporada seca, se intensifican los vientos alisios en la zona, que tienen una influencia directa sobre el enriquecimiento de nutrientes disueltos y carbón orgánico. Los sedimentos depositados de origen terrestre contienen elementos como Al, Ti, Cr, K y Fe, que ayudan a elucidar sobre su origen ya que son elementos resistentes a las alteraciones diagenéticas y a la meteorización. Adicionalmente, se ha demostrado que los cambios en las concentraciones de estos elementos están directamente relacionados con variaciones en la precipitación (Martinez *et al.*, 2007). También se ha encontrado una fuerte relación entre la composición isotópica de oxígeno del plancton foraminífera y la temperatura de la superficie del mar (SST) (Tedesco *et al.*, 2007). Por otro lado, Black *et al.* (2007) y Tedesco *et al.* (2007) mostraron que a través de la *Globigerina bulloides* es posible estimar la temperatura durante las épocas secas.

Peterson & Haug (2006) presentan un resumen de datos ya publicados y lecturas recientes sobre los sedimentos de origen terrestre al igual que otras variables paleoclimáticas. Los datos analizados sugieren una alta correlación entre la respuesta climatológica en el Atlántico Tropical a los patrones de migración del ITCZ. Las comparaciones de los datos sugieren que durante el período entre la Pequeña Edad de Hielo, el *Younger Dryas* Reciente y los estadiales más fríos del último glacial, se presentaron disminuciones en la cantidad de sedimentos depositados en la fosa por los ríos que desembocan en el golfo (variables independientes) durante los períodos más templados del Atlántico Norte SST. Esto sugiere un desplazamiento de la posición promedio del ITCZ hacia el sur. Sin embargo, durante las épocas interestadiales más cálidas del Holoceno y durante el desglaciamiento, se ha identificado, a partir del incremento en el depósito de detritos a la fosa, un desplazamiento hacia el norte de la posición promedio del ITCZ.

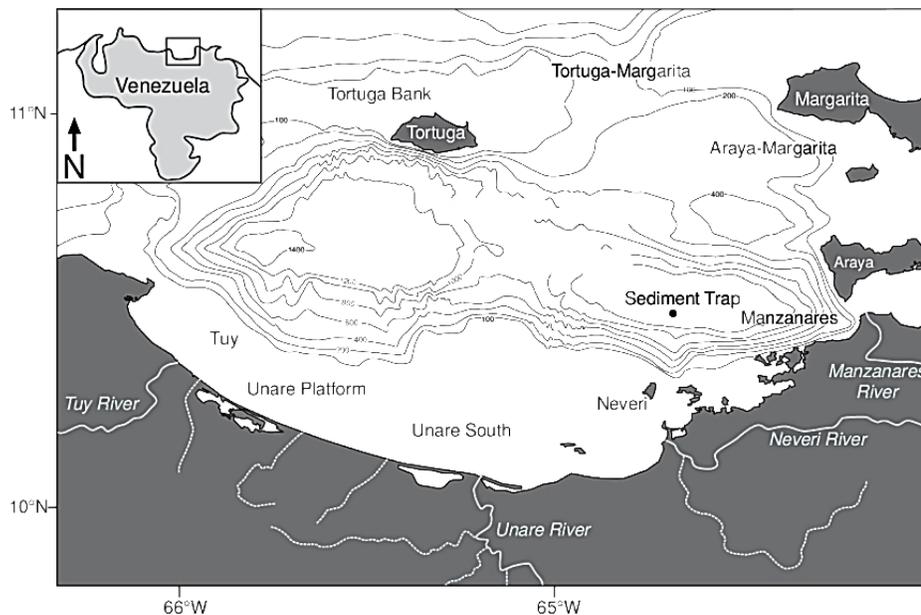


Figura I.1.8 Ubicación geográfica de la Fosa de Cariaco. Se ubica al norte de las costas de los estados Miranda, Anzoátegui y Sucre, al sur de la isla de la Tortuga, al este de Cabo Codera (estado Miranda) y al oeste de la Península de Araya (estado Sucre). Se muestran los cuatro ríos contribuyentes principales: Tuy, Unare, Neveri y Manzanares. Figura adaptada de Riboulleau *et al.*, 2014.

Resultados similares son obtenidos por Makoua *et al.* (2007) usando biomarcadores en mediciones $\delta^{13}C$ y δD de muestras de cera de hojas de plantas vasculares preservadas en los sedimentos marinos del fondo de la fosa. Adicionalmente, el registro del biomarcador $\delta^{13}C$ concuerda con datos de polen tomados de otras muestras. En el trabajo de González *et al.* (2008) se presentan evidencias en registros de vegetación Neotropical usando información palinológica que dan soporte a las interpretaciones de trabajos anteriores en donde el desplazamiento latitudinal del ITCZ describe los cambios ambientales al norte de América del Sur. Específicamente, se enfocan en eventos *Heinrich* del Atlántico Norte (HE) y ciclos *Dansgaard/Oeschger*, y estudian usando información palinológica, la respuesta de la vegetación Neotropical a los cambios climáticos durante el último glacial. Peterson & Haug (2006) advierten que aún queda por entender si los desplazamientos rápidos de la posición del ITCZ y la precipitación registrada a través de los depósitos laminares del fondo de la Fosa de Cariaco responden a forzamientos provenientes de altas latitudes del Atlántico o a forzamientos potencialmente originados en el mismo trópico.

Con la disponibilidad de 76 perfiles sísmicos de reflexión en alta resolución tomados en el 2006, van Daele *et al.* (2008) reconstruyen el nivel del mar para la Fosa de Cariaco. Según los autores, considerando la somera profundidad actual de comunicación entre el golfo y la fosa, durante gran parte del último glacial el golfo estuvo separado del mar, siendo un lago alimentado solamente por los ríos contribuyentes. Infieren que durante la época en que el golfo era un lago, los períodos de sequía resultaron en niveles del lago drásticamente bajos, posiblemente quedando completamente seco. Los

cortes actuales en las profundidades de los lóbulos de los deltas, la evidencia de evaporitas y de sedimentos asociados a niveles del mar bajos fueron usados para estimar el nivel del mar y lago al momento de su formación. La curva de nivel del mar y actual golfo obtenida y la curva de nivel del mar eustática presentaron similitudes inesperadas. Los resultados obtenidos muestran que el nivel del lago en el golfo está fuertemente acoplado a las fases estadales e interestadales del último período glacial (van Daele *et al.*, 2008). Se puede reconocer el *Younger Dryas* Reciente debido a la evidencia del secado casi completo del lago. La estratigrafía del golfo presenta un registro completo y muy preciso del cambio climático y cambio en el nivel del mar a nivel global, al menos desde el penúltimo glacial máximo. También un estudio efectuado por Rull (1999) que usa palinomorfos con y sin polen, en un transecto que involucra manglares y comunidades costeras desde la Fosa del Cariaco hasta el Delta del Orinoco ha mostrado que a partir de los patrones de sedimentación es posible reconstruir las variaciones del nivel del mar durante el Holoceno. Martínez *et al.* (2010), presentan otra alternativa para la misma extensión entre Cariaco y el Delta donde usan trazas geoquímicas en las superficies de los sedimentos para caracterizar las principales fuentes fluviales. El trabajo de Martínez *et al.* (2010) indica que las muestras no presentan evidencia física y estadística de que el río Orinoco aporte sedimentos al Golfo de Cariaco. En otro trabajo más reciente, Riboulleau *et al.* (2014) estudian la posibilidad de discernir entre las distintas fuentes fluviales dentro del propio golfo usando elementos traza, como por ejemplo Hf, Th, La, Yb, Gd, Ti, Zr y Lu, en diagramas binarios o ternarios.

El aporte de Nitrógeno Inorgánico Disuelto (DIN) de los cuatro principales ríos que alimentan la Fosa de Cariaco es estudiado por Rasse (2010), reportando que durante el mes de septiembre y en ausencia de un evento de surgencia, la contribución de DIN de los ríos a la fosa parece ser menos importante que el aporte atribuido a la deposición atmosférica. Específicamente, el aporte de DIN del río Tuy al golfo pudiese aumentar la cantidad de N_2O liberado a la atmósfera.

En cuanto a reconstrucciones paleosalínicas, McConnell *et al.* (2009) usan registros del isótopo $\delta^{18}O_w$ y de dos especies de foraminíferos planctónicos extraídos de muestras tomadas de agua de mar para determinar la relación entre este isótopo y la salinidad en esta región tropical. Determinaron que para esta región, hay evidencia de cambios estacionales en la relación entre $\delta^{18}O_w$ y la salinidad. Esta variabilidad es mayoritariamente atribuida a los cambios estacionales en los caudales de los ríos contribuyentes al golfo. También reportan diferencias entre la relación del isótopo y la salinidad para aguas superficiales entre los períodos de surgencia y declives del nivel del mar. En líneas similares, Marshall *et al.* (2012) usan el peso de las conchas de mar de foraminíferos planctónicos y composición isotópica de boro como proxie para la calibración de modelos para la concentración de carbonato. Los modelos presentados determinan los niveles de pH y $[CO_3^{2-}]$ (anión carbonato) en agua de mar. El

procedimiento propuesto se puede alterar para estimar los demás parámetros de carbonato usados en los estudios paleoclimáticos y paleoceanográficos.

Sedimentos laminares acumulados en la fosa no sólo brindan registros detallados sobre la historia climática de la región, sino que también proporcionan datos sobre las cantidades de materiales transportados por agua o viento. Esto es clave ya que, a través de las características sedimentológicas es posible estimar las acumulaciones anuales de partículas y entender los flujos de paleo-polvo. Entender la dinámica de estos flujos permite elucidar sobre la influencia de aerosoles en el cambio climático. Elmore *et al.* (2009), examinan las características sedimentológicas (mineralogía de arcillas y granularidad) de sedimentos flotantes en la superficie y materiales litogénicos asentados en el fondo de la fosa recolectados entre los años 1997–2000. Resultados del análisis de las muestras superficiales y de las columnas extraídas, muestran una interesante relación en la distribución de la granularidad en partículas. La relación sugiere la contribución de material transportado tanto de fuentes fluviales como de fuentes eólicas. El río Unare resulta ser la fuente más importante de transporte de material fluvial para la zona este de la fosa. Combinando los proxies sedimentológicos se estima que el 90% del material de origen terrestre transportado es por medio fluvial y 10 % es transportado por medio eólico. En particular, Bout-Roumazeilles *et al.* (2013) usan mineralogía de arcillas para determinar los aportes individuales de los ríos contribuyentes principales de la fosa. Esta dinámica requiere ser estudiada con mayor detalle e incorporar nuevos sitios de estudio en el país, que permitan construir una base de datos representativa de las emisiones y sumideros de aerosoles, uno de los componentes claves de los GEI.

I.1.10.2 Los Andes

Los Andes, específicamente en el estado Mérida, son atractivos para efectuar estudios paleoecológicos primordialmente debido al abundante número de lagos y pantanos aptos para la extracción de núcleos. La paleoclimatología en Venezuela se inició justamente en estas montañas con el trabajo pionero de Schubert a mitad de la década de los setenta. Desde entonces han surgido y proliferado estudios en áreas como geomorfología, sedimentología y palinología los cuales han contribuido a comprender la paleoclimatología de los Andes.

Paleoregistros continuos de la historia climática de los Andes Venezolanos están en gran parte basados en estudios de polen que han producido una variedad cualitativa y cuantitativa de estimaciones históricas para fluctuaciones en temperatura y precipitación (Rull, 1998, 2005b; Rull *et al.*, 2005). Estudios basados en sedimentología, geoquímica e isótopos estables han permitido mejorar la resolución temporal y adentrar en nuevos detalles de la variabilidad climática de esta región durante el último glacial y el Holoceno (Mahaney *et al.*, 2001; Mahaney *et al.*, 2002, 2004; Dirszowsky *et al.*, 2005; Stansell *et al.*, 2005; Polissar *et al.*, 2006a, 2006b; Mahaney *et al.*, 2007; Stansell *et al.*, 2007).

Stansell *et al.* (2007) estudian los movimientos, patrones y magnitudes de la altura de equilibrio glacial (ELA) en nueve paleoglaciares, y correlacionan con observaciones de campo, fotos aéreas, imágenes satelitales y topografía digital de alta resolución. Los resultados muestran que durante el Último Glacial Máximo (UGM), los ELAs eran más bajos (entre 850 y 1420 m) que en el presente. Esto corresponde a una baja de temperatura significativa (de 8.6°C a 9°C) en comparación a la temperatura actual.

Los datos paleoglaciales de los Andes Venezolanos concuerdan con registros publicados que indican que, durante el UGM, el trópico norte experimentó una mayor baja en los ELAs y posiblemente una mayor disminución de temperatura en comparación al trópico del hemisferio sur. Lachniet & Seltzer (2002) y Stansell *et al.* (2005), reportan que se pueden identificar los detenimientos y avances de varios glaciares durante el UGM y el inicio del Holoceno. Stansell *et al.* (2010) con datación de radiocarbono, identifican enfriamientos abruptos durante el *Younger Dryas* Reciente.

La existencia de un eje de enfriamiento sincronizado con el *Younger Dryas* Reciente para los Andes, que solía ser un tema controversial ya no lo es. Estudios como el de Mahaney *et al.* (2008), aportan evidencia de este enfriamiento. En particular, Rull *et al.* (2010) reportan evidencia de una clara señal de la existencia de este evento en los Andes. Este estudio usa el análisis palinológico de alta resolución de un núcleo proveniente de la Laguna de los Anteojos (La Columna, Páramo Los Nevados) que se considera bien datada. Mahaney *et al.* (2005) han estudiado en el Macizo Humboldt las características de formaciones de canaletas con baja profundidad provenientes del proceso de desglacialización. Argumentan que estas estrías son producidas por la acción del hielo derretido que va cortando y tallando en las montañas que obstruyen el avance glacial durante UGM ELA y posiblemente pre-UGL ELA en aproximadamente las mismas posiciones topográficas.

En el trabajo de Polissar (2005), se reportan cambios regionales en el balance de humedad durante el Holoceno. Indica que los Andes venezolanos eran en línea general más húmedos durante el principio del Holoceno, pero que también estuvieron expuestos a ráfagas intensas de períodos áridos. Durante el Holoceno Medio los niveles de agua de los lagos eran bajos, asociado a una tasa de precipitación/evaporación reducida. El Holoceno Tardío es caracterizado por ser más húmedo, con períodos más húmedos ocurriendo durante la Pequeña Edad de Hielo.

Polissar *et al.* (2006) usaron un núcleo extraído de la Laguna de Mucubají con antigüedad de 1.500 años para reconstruir la historia glacial reciente de la región. Los registros documentan cuatro movimientos glaciales, avances y detenimientos, que parecen coincidir temporalmente con mínimos en la actividad solar. Es posible que la relación anterior amplifique los efectos del calentamiento global y

que éste tenga un efecto adverso en zonas altas de las regiones tropicales montañosas (Bradley *et al.*, 2004).

En conjunto, los estudios sustentan que el clima en esta región ha experimentado una considerable variabilidad durante los últimos 2000 años.

I.1.10.3 Región Guayana

La Guayana es una región de gran interés para la paleoecología y paleoclimatología en el Holoceno. Guayana por ser una de las regiones mejor conservadas en el mundo es muy atractiva para entender los procesos que involucran los cambios naturales y que dan forma a la biota moderna (Rull, 2007a). La mayoría de los registros disponibles corresponden al Holoceno y provienen de la Gran Sabana o de topos de tepuyes. En la Gran Sabana, el Holoceno está caracterizado por una sucesión alternante de períodos secos y húmedos. Los estudios de fluctuaciones del nivel de agua en los lagos han sido clave para caracterizar el Holoceno (Rull, 2007b). Sin embargo, no se disponen de registros entre el principio del Holoceno y el Holoceno Medio. Rull (2008) muestra que cerca de la mitad de las especies neotrópicas que han sido satisfactoriamente datadas aparecen durante el Cuaternario. Esto sugiere que los períodos glaciales influenciaron significativamente la diversificación biótica en el trópico. De los estudios efectuados en esta región se ha propuesto, tentativamente, que el desplazamiento vertical del ecotono de prados y matorrales se asocia con oscilaciones en la temperatura (Rull, 2004a, 2004b, 2005c, 2005d).

Los estudios realizados en las cuevas de la Gran Sabana, por ejemplo, los trabajos de Lundberg *et al.* (2010) y McFarlane (2010) en la cueva Charles Brewer (Cueva del Fantasma, descubierta en 2002) y ubicada en el Tepuy Churí, macizo del Chimantá, identifican bioespeleotemas de sílice de gran diversidad y tamaño. La datación de estas estructuras se hizo usando Uranio-torio en muestras de opalina de sílice. El estudio revela una estructura interna laminar de estratos claros y oscuros. Los autores sugieren que las láminas podrían ayudar a caracterizar el clima, argumentando que las bandas oscuras podrían corresponder a épocas de sequía durante el glacial y las bandas de color claro a épocas más húmedas durante el período interglacial.

Algunos estudios discuten la importancia del último milenio en la formación que hoy en día tienen estas sabanas. Resaltan la influencia significativa de la actividad humana tanto como explotación de la tierra como de alteración del paisaje mediante el empleo del fuego (Figura I.1.9) (Bilbao *et al.*, 2010; Montoya, 2011; Montoya *et al.*, 2011a; Montoya y col, 2011b; Montoya *et al.*, 2011c). Se ha visto en muchos casos que los paisajes actuales responden a las fuertes presiones de actividades humanas (manejo y administración de tierras y recursos naturales) y no solamente a las variaciones en las condiciones climáticas (Bush & Silman, 2007).



Figura I.1.9 Vista aérea de actividad humana que altera el paisaje. Muestra un conuco activo (tope) y uno recién abierto (fondo), notar los árboles parcialmente quemados. Fotografía V. Rull, en Montoya, 2011.

La Paleoclimatología Cuaternaria en esta región sigue en su infancia, principalmente debido a localización remota y la gran dificultad en obtener los permisos necesarios para efectuar trabajos de investigación de campo.

I.1.10.4 Región costera y Delta del Orinoco

En el trabajo de Rull (1998) se presentan y discuten las localidades de mayor interés paleoclimático para esta región. La mayoría de estos sitios registran eventos puntuales en la crecida del nivel del mar en el Holoceno, sin embargo, hasta la fecha no se dispone de secuencias con registros continuos para establecer la dinámica eustática. Una curva preliminar eustática fue construida usando sedimentos de morichales y corales como indicadores para el paleo-nivel del mar (Rull *et al.*, 1999; Rull, 2000). La tendencia estimada es consistente con otros estudios y reconstrucciones del Caribe (Klosowska, 2003; Ramcharan, 2004). A principios de la década pasada, sedimentos modernos y submodernos provenientes del Delta del Orinoco han sido revisados con la finalidad de examinar las relaciones entre vegetación y polen (Hofmann, 2002). Este trabajo describe que, en términos generales, los patrones locales y regionales de los sedimentos con polen son útiles para caracterizar las diferentes vegetaciones actuales y es posible usar estas relaciones para inferir sobre la vegetación pasada. Sedimentos marinos lejanos de la costa, pero dentro del Golfo de Paria, han sido estudiados con la idea de poder determinar proveniencias y con ello determinar los procesos de depósito que han llevado a las configuraciones observadas actualmente (Gonthier *et al.*, 2002; Medina *et al.*, 2005; Alfonso *et al.*, 2006).

I.1.11 Vacíos de investigación

La recopilación de trabajos presentada en las secciones precedentes, sin pretender ser exhaustiva, identifica un amplio espectro de proyectos de investigación en la ciencia del cambio climático que deberán ser desarrollados para lograr establecer a nivel local (país, estados, municipios) resultados cónsonos con los nuevos escenarios de cambio climático en el período 2011–2100, siguiendo las metodologías propuestas por el IPCC en su Quinto Informe. Para ello, hace falta realizar análisis detallados de intercomparación de los resultados de estos GCMs a fin de determinar cuáles son los que mejor representan el clima de referencia de Venezuela, considerando el período base de referencia 1976–2005, al menos en lo que se refiere a la precipitación y a la temperatura. Se deberá buscar corregir los sesgos descritos en la sección I.1.6 para luego, por ejemplo, regionalizar las trayectorias de concentración representativas (RCPs) con métodos estadísticos con el fin de proyectarlas a nivel local para el período 2011–2100.

Otra posible línea de trabajo es la modelización del sistema climático regional, considerando variables en la mesoescala y contemplando los efectos que El Niño y otras VM, tienen sobre el sistema climático de Venezuela. Como se ha comentado, los trabajos encontrados en esta revisión no llegan a desagregar influencias específicas sobre los grandes sistemas sinópticos (posición de la Alta Presión Tropical, la Zona de Convergencia Intertropical (ITCZ), la ocurrencia de Ondas del Este, Vaguadas o Frentes Fríos) o sobre las características en el Caribe y el Atlántico.

Para realizar estos estudios propuestos, es necesario reconstruir la red de estaciones hidrometeorológicas del INAMEH para disponer de una base de datos a lo largo de todo el país con suficiente densidad para reducir los valores de medición e interpolación. La densidad de esta red deberá ser como mínimo la densidad propuesta por la WMO. Queda también la tarea de continuar con los estudios paleoclimáticos, sobre todo en las regiones de los Llanos, Costera y Delta del Orinoco, que son las regiones más vulnerables ante el aumento del nivel del mar. A pesar de que se dispone de una cantidad de núcleos de sedimentos provenientes del Delta del Orinoco, hasta la fecha no se han realizado análisis con proxies o consideraciones de interés paleoclimático.

Dado lo anterior y con la idea de atender esas necesidades, queda promover trabajos de datación radiométrica y estudios de interpretaciones paleoclimáticas.

I.1.12 Conclusiones

- Aunque se muestran trabajos que apuntan en la dirección de estudio de los cambios climáticos en Venezuela, los resultados reportados no permiten establecer de manera clara su relación con los

escenarios propuestos en el Quinto Reporte (AR5) del IPCC, ni la incertidumbre de las proyecciones asociadas a dichos escenarios.

Referencias

- Alfonso, J. A., Martínez, M., Flores, S. & Benzo, Z. (2006). Distribution of trace elements in offshore sediments of the Orinoco Delta. *Journal of Coastal Research*, 22: 502–510.
- Berberly, E. H., & Collini, E. A. (2000, May). Springtime Precipitation and Water Vapor Flux over Southeastern South America. *Monthly Weather Review*, 128: 1328–1346.
- Bilbao, B., Leal, A. V., & Mendez, C. L. (2010). Indigenous use of fire and forest loss in Canaima National Park, Venezuela. Assessment of and tools for alternative strategies of fire management in Pemón indigenous lands. *Human Ecology*, 38: 663–673.
- Black, D. E., Abahazi, M. A., Thunell, R. C., Kaplan, A., Tappa, E. J., & Peterson, L. C. (2007). An 8-century tropical Atlantic SST record from the Cariaco Basin: Baseline variability, twentieth-century warming, and Atlantic hurricane frequency. *Paleoceanography*, 22 (4): 1–10. Descargado de <http://dx.doi.org/10.1029/2007PA001427> (PA4204) doi: 10.1029/2007PA001427
- Bout-Roumazeilles, V., Riboulleau, A., du Châtelet, E. A., Lorenzoni, L., Tribouillard, N., Murray, R. W., Astor, Y. M. (2013). Clay mineralogy of surface sediments as a tool for deciphering river contributions to the Cariaco Basin (Venezuela). *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 118 (2): 750–761. Descargado de <http://dx.doi.org/10.1002/jgrc.20079> doi: 10.1002/jgrc.20079
- Bradley, R. S., Keimig, F. T., & Diaz, H. F. (2004). Projected temperature changes along the American Cordillera and the planned GCOS network. *Geophysical Research Letters*, 31, L16210. doi: 10.1029/2004GL020229
- Braun, C., y Bezada, M. (2013). The History and Disappearance of Glaciers in Venezuela. *Journal of Latin American Geography*, 12: 85–124.
- Bravo, L., Abad, S., Llatas, I., Salcedo, A., Delgado, L., Ramos, S., & Cordova, K. (2014). HIDROX. Repositorio de Datos Hidroclimáticos para la Gestión de Riesgos Epidemiológicos y Ambientales. (1a ed.). USB-CESMA. (80 pp.)
- Bush, M. B., Hanselman, J. A., & Hooghiemstra, H. (2011). Andean montane forests and climate change. En M. B. Bush, J. R. Flenley, y W. D. Gosling (Eds.), *Tropical Rainforest Responses to Climatic Change* (2a ed., pp. 35–60). Springer-Verlag. Descargado de <http://www.springer.com/978-3-642-05382-5>
- Bush, M. B., Oliveira, P. E., Colinvaux, P. A., Miller, M. C., & Moreno, J. E. (2004). Amazonian paleoecological histories: One hill, three watersheds. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 214: 359–393.
- Bush, M. B., & Silman, M. R. (2007). Amazonian exploitation revisited: ecological asymmetry and the policy pendulum. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 51: 457–465.
- Busuioc, A., Chen, D., & Hellström, C. (2001). Performance of statistical *downscaling* models in GCM validation and regional climate change estimates: application for Swedish precipitation. *International Journal of climatology*, 21:557–578.
- Campbell, J. D., Taylor, M. A., Stephenson, T. S., Watson, R. A., & Whyte, F. S. (2010, July). Future climate of the Caribbean from a regional climate model. *International Journal of climatology*, 31, 13.
- Cárdenas P., G. L. & G. A. (2002). Impacto de los eventos El Niño-Oscilación del Sur en Venezuela (Inf. Téc.). Caracas. Venezuela: Corporación Andina de Fomento.
- Chou, S. C., Rozante, J. R., & Bustamante, J. F. (2004). Eta model forecasts for the Venezuela flood event of december 1999. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 19 (1), 99–112.
- Comisión Nacional de Meteorología e Hidrología. (1998). El fenómeno El Niño y su posible influencia sobre el territorio de Venezuela (Inf. Téc.). Caracas. Venezuela: CONICIT.
- Cook, K. H. & Vizy, E. K. (2007). Effects of Twenty-First-Century Climate Change on the Amazon Rain Forest. *Journal of Climate*, 21: 542–560.
- Corporación Andina de Fomento. (2000). Las lecciones de El Niño, Memorias del fenómeno El Niño 1997–1998. Retos y propuestas para la región andina, Volumen IV Venezuela (Inf. Téc.). Caracas. Venezuela: Corporación Andina de Fomento, CAF.
- Dirszowsky, R. W., Mahaney, W. C., Hodder, K. R., Milner, M. W., Kalm, V., Bezada, M. & Beukens, R. P. (2005). Lithostratigraphy of the Merida (Wisconsinian) glaciation and Pedregal interstade, Merida Andes, northwestern Venezuela. *Journal of South American Earth Sciences*, 19: 525–536.

- Durán, A. (2008). Enfoque bayesiano para la estimación probabilística de los cambios climáticos en Venezuela (Tesis de Master no publicada). Universidad Simón Bolívar.
- Durán, A., & Bravo de Guenni, L. (2010). Estimación probabilística del cambio climático en Venezuela mediante un enfoque bayesiano. *Revista Colombiana de Estadística*, 33 (2): 191–218.
- Elmore, A. C., Thunell, R. C., Styles, R., Black, D., Murray, R. W., Martinez, N. & Astor, Y. (2009). Quantifying the seasonal variations in fluvial and eolian sources of terrigenous material to Cariaco Basin, Venezuela. *Journal of South American Earth Sciences*, 27: 197–210. Descargado de <http://adsabs.harvard.edu/abs/2009JSAES..27..197E> doi: 10.1016/j.jsames.2008.11.002
- Fichtler, E., Helle, G., & Worbes, M. (2010). Stable carbon isotope time series from tropical tree rings indicate a precipitation signal. *Tree Ring Research*, 66: 35–49.
- Garreaud, R. D., Vuille, M., Compagnucci, R. & Marengo, J. (2009). Present-day South American climate. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 281 (3–4):180–195. Descargado de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0031018208005002> doi: 10.1016/j.palaeo.2007.10.032
- Giannini, A., Kushnir, Y. & M.A., C. (2000). Interannual variability of the Caribbean Rainfall: ENSO and the Atlantic Ocean. *Journal of Climate*, 13: 297–311.
- Gonthier, E., Faugères, J. C., Gervais, A., Ercilla, G., Alonso, B. & Baraza, J. (2002). Quaternary sedimentation and origin of the Orinoco sediment-wave field on the Demerara continental rise (NE margin of South America). *Marine Geology*, 192: 189–214.
- González, C., Dupont, L. M., Behling, H. & Wefer, G. (2008). Neotropical vegetation response to rapid climate changes during the last glacial period: Palynological evidence from the Cariaco Basin. *Quaternary Research*, 69 (2): 217–230. Descargado de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0033589407001500> doi: 10.1016/j.yqres.2007.12.001
- Grande, J. R., Kallunki, J., Arbo, M. M., Berry, P. E., Huber, O. & Riina, R. (2012). Botanical novelties from Sierra de Maigualida, southern Venezuela. *Anales del Jardín Botánico de Madrid*, 69 (1): 7–19. doi: 10.3989/ajbm.2299
- Guenni, L., Degryze, E. & Alvarado, K. (2008). Análisis de la Tendencia y la Estacionalidad de la Precipitación Mensual en Venezuela. *Revista Colombiana de Estadística*, 31 (1): 41–65.
- Guenni, L. & Loreto, M. (1998). Space-time modelling of monthly rainfall for climate impact studies in Venezuela. Reporte Técnico, Universidad Simón Bolívar.
- Guenni, L., Sansó, B. & Betancourt, L. (2002). Oceanic influence on the precipitation of the south-east of Venezuela. *Environmetrics*, 13 (3): 263–279.
- Guevara, E., Paredes, F. & Guevara, E. (2007). Influencia de variables macroclimáticas sobre el régimen pluvio-métrico del Estado Cojedes, Venezuela. *Revista Ingeniería U. C.*, 14 (3): 49–56.
- Guevara, J. (2004). Meteorología. Universidad Central de Venezuela. Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico. ISBN: 9800002170, 399 p.
- Hillesheim, M. B., y cols. (2005). Climate Change in Lowland Central America During the Late Deglacial and Early Holocene. *Journal of Quaternary Sciences*, 20: 363–376.
- Hofmann, C. C. (2002). Pollen distribution in sub-recent sedimentary environments of the Orinoco Delta (Venezuela): An actuo-palaeobotanical study. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 119: 191–217.
- Horel, J. D., Pechmann, J. B., Hahmann, A. N. & Geller, J. E. (1994). Simulations of the Amazon Basin Circulation with a Regional Model. *Journal of Climate*, 7: 56–71.
- Hsie, E.-Y., Kuo, Y.-H. & Anthes, R. A. (1987). Description of the Penn State/NCAR Mesoscale Model Version 4 (MM4). NCAR Tech. (Note, NCAR/TN-282+IA)
- Huber, O., & García, P. (2011). The Venezuelan Guayana Region and the Study Areas: Geo-ecological Characteristics. En J. A. Zinck & O. Huber (Eds.), *Peatlands of the Western Guayana Highlands, Venezuela* (Vol. 217, pp. 29–89). Springer Berlin Heidelberg. Descargado de http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-20138-7_3 doi: 10.1007/978-3-642-20138-7_3
- Hughen, K. A., Overpeck, J. T., Lehman, S. J., Kashgarian, M. & Southon, J. (1998). A new 14 C calibration data set for the last deglaciation. *Radiocarbon*, 40: 483–494.

- Hulme, M., Wigley, T. M. L., Barrow, E. M., Raper, S. C. B., Centella, A., Smith, S. & Chipanshi, A. (2000). Using a climate scenario generator in vulnerability and adaptation assessments: MAGICC and SCENGEN Workbook. (Inf. Téc.). Climatic Research Unit, University of East Anglia, Norwich.
- IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex & P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp, doi:10.1017/CBO9781107415324.
- Klosowska, B. (2003). *Late Holocene embayment and salina record of Curaçao (Dutch Antilles): Criteria to monitor environmental change and biodiversity*. University of Amsterdam.
- Lachniet, M. S. & Seltzer, G. (2002). Late Quaternary glaciation of Costa Rica. *Geological Society of America Bulletin*, 114: 547–558.
- Lachniet, M. S. & Vazquez-Selem, L. (2005). Last Glacial Maximum equilibrium line altitudes in the circum-Caribbean (Mexico, Guatemala, Costa Rica, Colombia, and Venezuela). *Quaternary International*, 138–139, 129–144. Descargado de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1040618205000455> doi: 10.1016/j.quaint.2005.02.010
- Laya, J. C. & Tucker, M. E. (2012). Facies analysis and depositional environments of Permian carbonates of the Venezuelan Andes: Palaeogeographic implications for Northern Gondwana. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 331–332, 1–26. Descargado de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0031018212000843> doi: 10.1016/j.palaeo.2012.02.011
- Lundberg, J., Brewer-Carias, C. & McFarlane, D. A. (2010). Preliminary results from U–Th dating of glacial– interglacial deposition cycles in a silica speleothem from Venezuela. *Quaternary Research*, 74 (1):113–120. Descargado de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0033589410000232> doi: 10.1016/j.yqres.2010.03.005
- Mahaney, W. C., Dirszowsky, R. W. & Kalm, V. (2007). Comment: Late Quaternary deglacial history of the Mérida Andes, Venezuela. *Journal of Quaternary Science*, 20: 801–812.
- Mahaney, W. C., Dirszowsky, R. W., Milner, M. W., Harmsen, R., Finkelstein, S. A., Kalm, V., Hancock, R. G. V. (2007). Soil stratigraphy and plant soil interactions on a Late Glacial Holocene fluvial terrace sequence, Sierra Nevada National Park, northern Venezuelan Andes. *Journal of South American Earth Sciences*, 23: 46–60. doi: 10.1016/j.jsames.2006.09.020
- Mahaney, W. C., Dirszowsky, R. W., Milner, M. W., Menzies, J., Stewart, A., Kalm, V. & Bezada, M. (2004). Quartz microtextures and microstructures owing deformation of glaciolacustrine sediments in the northern Venezuelan Andes. *Journal of Quaternary Science*, 192: 23–33.
- Mahaney, W. C., Kalm, V., Jöeleht, A., Bezada, M. & Dirszowsky, R. W. (2005). Nye channels (flutings) on the Humbolt Massif northern Venezuelan Andes. *Zeitschrift für Geomorphologie*, NF, 49 (2): 253–264.
- Mahaney, W. C., Milner, M. W., Bezada, M., Kalm, V. & Hancock, R. G. V. (2002). Paleosols and Andean uplift in Venezuela: assessing competing hypotheses of relict tropical soils versus paleohydrogeochemical variations. *Journal of South American Earth Earth Sciences*, 15:525–542.
- Mahaney, W. C., Milner, M. W., Kalm, V., Dirszowsky, R. W., Hancock, R. G. V. & Beukens, R. P. (2008). Evidence for a Younger *Dryas* glacial advance in the Andes of northwestern Venezuela. *Geomorphology*, 96:199–211.
- Mahaney, W. C., Russel, S. E., Milner, M. W., Kalm, V., Bezada, M., Hancock, R. G. V. & Beukens, R. P. (2001). Paleopedology of Middle Wisconsin/ Weichselian paleosols in the Merida Andes, Venezuela. *Geoderma*, 104:215–237.
- Makoua, M. C., Hughenb, K. A., Xua, L., Sylva, S. P. & Eglinton, T. I. (2007). Isotopic records of tropical vegetation and climate change from terrestrial vascular plant biomarkers preserved in Cariaco Basin sediments. *Organic Geochemistry*, 38 (10): 1680–1691. doi: 10.1016/j.orggeochem.2007.06.003
- Maraun, D., Wetterhall, F., Ireson, A. M., Chandler, R. E., Kendon, E. J., Widmann, M., Brienen, S., Rust, H. W., Sauter, T., Theme, M., Venema, V. K. C., Chun, K. P., Goodess, C. M., Jones, R. G., Onof,

- C., Vrac, M. & Thiele-Eich, I. (2010). Precipitation *Downscaling* under climate change. Recent developments to bridge the gap between dynamical models and the end user. *Reviews of Geophysics*, 48(3),1:34DOI:10.1029/2009RG00031
- Marengo, J., Chou, S., Torres, R., Giarolla, A., Alves, L. & Lyra, A. (2014). Climate Change in Central and South America: Recent Trends, Future Projections, and Impacts on Regional Agriculture. Copenhagen, Denmark. (Available online at: www.ccafs.cgiar.org)
- Marshall, B. J., Thunell, R., Henehan, M. J., McConnell, M. C. & Astor, Y. (2012, diciembre). Planktonic foraminiferal shell weight and boron isotopic composition as proxies for carbonate system parameters: Insight from sediment trap studies in the Cariaco Basin, Venezuela. American Geophysical Union Fall Meeting, C1983.
- Martelo, M. T. (2004). Consecuencias Ambientales Generales del Cambio Climático en Venezuela (Trabajo de Ascenso). Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía. Maracay, Estado Aragua.
- Martelo, M. T. (2003). La precipitación en Venezuela y su relación con el sistema climático. Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales, República Bolivariana de Venezuela. Descargado de: <https://www.scribd.com/document/246262516/precipitacion-venezuela-relacion-sistema-climatico-pdf>
- Martelo, M. T., y Rojas, M. (2000). Estudio sobre la posible influencia del fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (ENSO) sobre el clima de los Llanos en Venezuela. Reunión de Expertos de las Asociaciones regionales AR-III y AR-IV sobre Fenómenos Adversos, Anexo VI, 139–146.
- Martinez, N., Murray, R., Thunell, R., Peterson, L., Muller-Karger, F., Lorenzoni, L., . . . Varela, R. (2010). Local and regional geochemical signatures of surface sediments from the Cariaco Basin and Orinoco Delta, Venezuela. *Geology*, 38 (2): 159–162.
- Martinez, N. C., Murray, R. W., Thunell, R. C., Peterson, L. C., Muller-Karger, F. E., Astor, Y. & Varela, R. (2007). Modern climate forcing of terrigenous deposition in the tropics (Cariaco Basin, Venezuela). *Earth and Planetary Science Letters*, 264: 438–451.
- McConnell, M. C., Thunell, R. C., Lorenzoni, L., Astor, Y., Wright, J. D. & Fairbanks, R. (2009). Seasonal variability in the salinity and oxygen isotopic composition of seawater from the Cariaco Basin, Venezuela: Implications for paleosalinity reconstructions. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 10 (6):1–15. Descargado de <http://dx.doi.org/10.1029/2008GC002035> (Q06019) doi: 10.1029/2008GC002035
- Medina, E., Cuevas, E. & Huber, O. (2011). Origin of Organic Matter Leading to Peat Formation in the Southeastern Guayana Uplands and Highlands. En J. A. Zinck y O. Huber (Eds.), *Peatlands of the Western Guayana Highlands, Venezuela* (Vol. 217, pp. 237–245). Springer Berlin Heidelberg. Descargado de http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-20138-7_8 doi: 10.1007/978-3-642-20138-7_8
- Medina, E., Francisco, M., Sternberg, L. & Anderson, W. T. (2005). Isotopic signatures of organic matter in sediments of the continental shelf facing the Orinoco Delta: Possible contribution of organic carbon from savannas. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 63: 527–536.
- Mendes, D., Marengo, J., Rodrigues, S. & Oliveira, M. (2014). *Downscaling* Statistical Model Techniques for Climate Change Analysis Applied to the Amazon Region. *Advances in Artificial Neural Systems*, vol. 2014, Article ID 595462, 10 pages, 2014. doi:10.1155/2014/595462
- Mo, K. & Berbery, E. H. (2011). Drought and Persistent Wet Spells over South America based on Observations and the U. S. CLIVAR Drought experiments. *Journal of Climate*, 24 (6): 1801–1820.
- Monasterio, P., y cols. (2011). Influencia del fenómeno el niño/oscilación del sur sobre la precipitación y rendimiento del cultivo de maíz en el municipio Peña, estado Yaracuy, Venezuela. *Agronomía Trop*, 61 (1): 59–72.
- Montoya, E. (2011). *Paleoecology of the southern Gran Sabana (SE Venezuela) since the last glacial to the present* (Tesis Doctoral). Facultat de Biociències. Universitat Autònoma de Barcelona.
- Montoya, E., Rull, V. & Nogué, S. (2011). Early human occupation and land use changes near the boundary of the Orinoco and the Amazon basins (SE Venezuela): Palynological evidence from El Paují record. Instituto Botánico de Barcelona (IBB), 1–20. Descargado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.palaeo.2011.08.002>; <http://hdl.handle.net/10261/72578>

- Montoya, E., Rull, V., Stansell, N. D., Abbott, M. B., Nogué, S., Bird, B. & Díaz, W. A. (2011, octubre). Forest-savanna-morichal dynamics in relation to fire and human occupation in the southern Gran Sabana (SE Venezuela) during the last millennia. *Quaternary Research*, 76 (3): 335–344. Descargado de https://www.researchgate.net/publication/229112375_Forestsavannamorichal_dynamics_in_relation_to_fire_and_human_occupation_in_the_southern_Gran_Sabana_%28SE_Venezuela%29_during_the_last_millennia
- Montoya, E., Rull, V., Stansell, N. D., Bird, B. W., Nogué, S., Vegas-Vilarrúbia, T., Díaz, W. A. (2011). Vegetation changes in the Neotropical Gran Sabana (Venezuela) around the *Younger Dryas* chron. *Journal of Quaternary Science*, 26 (2): 207–218. Descargado de <http://dx.doi.org/10.1002/jqs.1445> doi: 10.1002/ jqs.1445
- Montoya, E., Rull, V. & Vegas-Vilarrúbia, T. (2012). Non-pollen palynomorph studies in the Neotropics: The case of Venezuela. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 186, 102–130. Descargado de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S003466671200156X> (Non-pollen Palynomorphs as Rele-vant indicators in Palaeoecology and Archaeobotany) doi: 10.1016/j.revpalbo.2012.06.008.
- Nakicenovic, N. & Swart, R. (Eds.). (2000). *Emission Scenarios* (Inf. Téc.). Cambridge University Press.
- Nozawa, S., Grande, J. R. & Huber, O. (2010). Botanical novelties from Sierra de Maigualida, southern Venezuela. *Anales del Jardín Botánico de Madrid*, 67 (2):195–202. doi: 10.3989/ajbm.2252
- Overpeck, J. T. & Cole, J. E. (2006, noviembre). Abrupt Change in Earth's Climate System. *Annual Review of Environment and Resources*, 31: 1–31.
- Paredes, F. & Guevara, E. (2010). Desarrollo y evaluación de un modelo para predecir sequías meteorológicas en los Llanos de Venezuela. *Bioagro*, 22 (1): 03–10.
- Peterson, L. C. & Haug, G. H. (2006). Variability in the mean latitude of the Atlantic Intertropical Convergence Zone as recorded by riverine input of sediments to the Cariaco Basin (Venezuela). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 234 (1): 97–113. Descargado de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0031018205006115> (Late Quaternary climates of tropical America and adjacent seas) doi: 10.1016/j.palaeo.2005.10.021
- Pierre, F. & Tirado, M. (2007). Influencia del ENSO sobre la precipitación en la cuenca del Río Yacambú y la depresión de Quíbor, estado Lara, Venezuela. *Bioagro*, 19 (1): 41–52.
- Polissar, P. (2005). *Lake records of Holocene climate change, Cordillera de Mérida, Venezuela* (Tesis Doctoral). University of Massachusetts.
- Polissar, P., Abbott, M. B., Shemesh, A., Wolfe, A. P. & Bradley, R. S. (2006). Holocene hydrologic balance of tropical South America from oxygen isotopes of lake sediment opal, Venezuelan Andes. *Holocene hydrologic balance of tropical South America from oxygen isotopes of lake sediment opal, Venezuelan Andes*, 242(3-4): 375– 389.
- Polissar, P., Abbott, M. B., Wolfe, A. P., Bezada, M., Rull, V. & Bradley, R. S. (2006). Solar modulation of Little Ice Age climate in the tropical Andes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106: 893–842.
- Poveda, G., Waylen, P. R. & Pulwarty, R. S. (2006). Annual and inter-annual variability of the present climate in northern South America and southern Mesoamerica. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 234 (1): 3–27.
- Ramcharan, E. K. (2004). Mid-to-late Holocene sea level influence on coastal wetland development in Trinidad. *Quaternary International*, 120: 145–151.
- Rasse, R. (2010). Dissolved inorganic nitrogen (DIN) fluxes from tropical rivers and wet atmospheric deposition to the Cariaco Basin, Venezuela. *Solas news*, 10 (Winter), 4–5. Descargado de <http://www.solas-int.org>
- Rebolledo, R. (2013). *Evaluación de la fuentes de energía solar y eólica en Venezuela frente a los efectos del Cambio Climático*. (Tesis Doctoral). Universidad Simón Bolívar.
- Riboulleau, A., Bout-Roumazeilles, V., Tribouillard, N., Guillot, F. & Recourt, P. (2014). Testing provenance diagrams: Lessons from the well-constrained Cariaco Basin. *Chemical Geology*, 389: 91–103. Descargado de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S000925411400432X> doi: 10.1016/j.chemgeo.2014.09.015

- Ricardi-Branco, F. (2008). Venezuelan paleoflora of the Pennsylvanian-Early Permian: Paleobiogeographical re-lationships to central and western equatorial Pangea. *Gondwana Research*, 14 (3): 297–305. Descargado de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1342937X0800066X> doi: 10.1016/j.jgr.2008.02.007
- Rull, V. (1998). Modern and Quaternary palynological studies in the Caribbean and Atlantic coasts of northern South America: A palaeoecologically-oriented review. *Boletín de la Sociedad Venezolana de Geólogos*, 23: 5–24.
- Rull, V. (1999). Palaeoclimatology and sea-level history in Venezuela. *Interciencia*, 24: 92–101.
- Rull, V. (2000). Holocene sea level rise in Venezuela: A preliminary curve. *Boletín de la Sociedad Venezolana de Geólogos*, 25: 32–36.
- Rull, V. (2004a). An evaluation of the Lost World and the vertical displacement hypotheses in the Chimantá massif, Venezuelan Guayana. *Global Ecology and Biogeography*, 13: 141–148.
- Rull, V. (2004b). Is the “Lost World” really lost? Paleoeological insights on the origin of the peculiar flora of the Guayana Highlands. *Naturwissenschaften*, 91: 139–142.
- Rull, V. (2005a). Biotic diversification in the Guayana Highlands: A proposal. *Journal of Biogeography*, 32: 921–927.
- Rull, V. (2005b). A Middle Wisconsin interstadial in the northern Andes. *Journal of South American Earth Sciences*, 192: 173–179.
- Rull, V. (2005c). Palaeovegetational and palaeoenvironmental trends in the summit of the Guaiquinima massif (Venezuelan Guayana) during the Holocene. *Journal of Quaternary Science*, 20: 105–117.
- Rull, V. (2005d). Vegetation and environmental constancy in the neotropical Guayana Highlands during the last 6000 years? *Review of Palaeobotany and Palynology*, 135: 205–222.
- Rull, V. (2007a). The Guayana Highlands: A promised (but threatened) land for ecological and evolutionary science. *Biotropica*, 39: 31–34.
- Rull, V. (2007b). Holocene global warming and the origin of the neotropical Gran Sabana in the Venezuelan Guayana. *Journal of Biogeography*, 34: 279–288.
- Rull, V. (2008). Speciation timing and neotropical biodiversity: The Tertiary-Quaternary debate in the light of molecular phylogenetic evidence. *Molecular Ecology*, 17: 2722–2729.
- Rull, V., Abbott, M. B., Polissar, P., Wolfe, A. P., Bezada, M., y Bradley, R. S. (2005). 15,000-yr pollen record of vegetation change in the high altitude tropical Andes at Laguna Verde Alta, Venezuela. Late Quaternary paleoecology and paleolimnology of high-altitude tropical environment in the Venezuelan Andes. *Quaternary Research*, 64: 308–317.
- Rull, V., Abbott, M. B., Vegas-Vilarrúbia, T., Bezada, M., Montoya, E., Nogué, S. & González, C. (2010). Paleo-environmental Trends in Venezuela during the Last Glacial Cycle. En *Urumaco and Venezuelan Paleontology: The Fossil Record of the Northern Neotropics (Life of the Past)* (1.a ed., pp. 52–83). Indiana University Press.
- Rull, V., Stansell, N. D., Montoya, E., Bezada, M. & Abbott, M. B. (2010). Palynological signal of the *Younger Dryas* in the tropical Venezuelan Andes. *Quaternary Science Reviews*, 29 (23–24), 3045–3056. Descargado de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0277379110002635> doi: 10.1016/j.quascirev.2010.07.012
- Rull, V. & Vegas-Vilarrúbia, T. (2008). Rules against biopiracy hinders conservation work. *Nature*, 453:26.
- Rull, V., Vegas-Vilarrúbia, T. & Espinoza, N. (1999). Palynological record of an early-mid Holocene mangrove in eastern Venezuela: Implications for sea-level rise and disturbance history. *Journal of Coastal Research*, 15: 496–504.
- Rull, V., Vegas-Vilarrúbia, T., Nogué, S. & Montoya, E. (2008). Bureaucratic obstruction of conservation science in the Guayana Highlands. *Conservation Biology*, 22: 508–509.
- Safont, E., Rull, V., Vegas-Vilarrúbia, T., Holst, B. K., Huber, O., Nozawa, S., Vivas, Y. & Silva, A. (2014). Establishing a baseline of plant diversity and endemism on a neotropical mountain summit for future comparative studies assessing upward migration: an approach from biogeography and nature conservation. *Systematics and Biodiversity*, 12 (3): 292–314. Descargado de <http://dx.doi.org/10.1080/14772000.2014.918061> doi: 10.1080/14772000.2014.918061

- Sansó, B. & Guenni, L. (2004). A Bayesian approach to compare observed rainfall data to deterministic simulations. *Environmetrics*, 15:597–612.
- Sajo-Castelli, A. M., Villalta, D., Bravo de Guenni, L., García, I. & Ovalles, P. (2014). Overview of ground-based rainfall measurement network data quality for Venezuela. *Boletín de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales de Venezuela*, 3–4 (LXXIV): 1–169.
- Schmidli, J., Goodess, C. M., Frei, C., Haylock, M. R., Hurrell, J. W., Ribalaygua, J. & Schmith, T. (2007). Statistical and dynamical *downscaling* of precipitation: An evaluation and comparison of scenarios for the European Alps. *Journal of Geophysical Research*, 112 (D4): 2156–2202.
- Sequera, P. (2009). Análisis de la dependencia de variables climáticas a gran escala sobre la Precipitación en Venezuela (Trabajo de Maestría). Universidad Simón Bolívar.
- Silva León, G. A. (1999). Análisis hidrográfico e hipsométrico de la cuenca alta y media del río Chama, estado Mérida, Venezuela. *Revista Geográfica Venezolana*, 40 (1): 9–42.
- Silva León, G. A. (2000). Historia resumida de la hidrografía venezolana. *Revista Geográfica Venezolana*, 41 (1): 139–166.
- Silva León, G. A. (2002). Clasificaciones de pisos térmicos en Venezuela. *Revista Geográfica Venezolana*, 43 (2): 311–328.
- Silva León, G. A. (2010). *Tipos y subtipos climáticos de Venezuela* (Trabajo de Ascenso a Profesor Titular). Facultad de Ciencias Forestales Escuela de Geografía, Universidad de los Andes. Venezuela.
- Salomon, S. y cols. (2007). Climate Change 2007. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. United Kingdom. New York, NY, USA Cambridge University Press Descargado de http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_wg1_report_the_physical_science_basis.htm
- Stansell, N. D., Abbott, M. B., Polissar, P., Wolfe, A. P., Bezada, M. & Rull, V. (2007). Reply: Late Quaternary deglacial history of the Mérida Andes, Venezuela: response. *Journal of Quaternary Science*, 22 (8): 823–825
- Stansell, N. D., Abbott, M. B., Polissar, P., Wolfe, A. P., Rull, V. & Bezada, M. (2005). Late Quaternary deglacial history of the Mérida Andes, Venezuela. *Journal of Quaternary Science*, 20:801–812.
- Stansell, N. D., Abbott, M. B., Rull, V., Rodbell, D. T., Bezada, M. & Montoya, E. (2010, April). Abrupt *Younger Dryas* cooling in the northern tropics recorded in lake sediments from the Venezuelan Andes. *Earth and Planetary Science Letters*, 293 (1–2): 154–163. Descargado de <http://oro.open.ac.uk/35712/>
- Stansell, N. D., Polissar, P. & Abbott, M. B. (2007). Last Glacial Maximum Equilibrium-Line Altitude and paleo-temperature reconstructions for the Cordillera de Mérida, Venezuelan Andes. *Quaternary Research*, 67: 115–127.
- Stansell, N. D., Polissar, P. J., Abbott, M. B., Bezada, M., Steinman, B. A., y Braun, C. (2014). Proglacial lake sediment records reveal Holocene climate changes in the Venezuelan Andes. *Quaternary Science Reviews*, 89, 44–55. Descargado de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0277379114000341> doi: 10.1016/j.quascirev.2014.01.021
- TAO, TAO Project Office (2014). NOAA / Pacific Marine Environmental Laboratory. Imagen derivada a partir de NOAA / PMEL / TAO diagrama "ENSO/La Niña state". Descargado de https://commons.wikimedia.org/wiki/File:ENSO_-_La_Ni%C3%B1a.svg
- Taylor, M., Centella, A., Charlery, J., Bezaniilla, A., Campbell, J., Borrajero, I., Stephenson, T. & Nurmohamed, R. (2013). The PRECIS Caribbean Story: Lessons and Legacies. *American Meteorological Society*, 1065-1073.
- Tebaldi, C., Smith, R. L., Nychka, D. & Mearns, L. O. (2005). Quantifying uncertainty in projections of regional climate change: A Bayesian approach to the analysis of multimodel ensembles. *Journal of Climate*, 18: 1524–1540.
- Tedesco, K., Thunell, R. C., Astor, Y. & Muller-Karger, F. E. (2007). The oxygen isotope composition of planktonic foraminifera from the Cariaco basin, Venezuela: Seasonal and interannual variations. *Marine Micropaleontology*, 62: 180–193.

- Thunell, R. C., Sigman, D. M., Muller-Karger, F., Astor, Y. & Varela, R. (2004). Nitrogen isotope dynamics of the Cariaco Basin, Venezuela. *Global Biogeochemical Cycles*, 18 (3). Descargado de [http:// dx.doi.org/10.1029/2003GB002185](http://dx.doi.org/10.1029/2003GB002185) doi: 10.1029/2003GB002185
- Thunell, R. C., Varela, R., Llano, M., Collister, J., Muller-Karger, F. & Bohrer, R. (2000). Organic carbon fluxes, degradation, and accumulation in an anoxic basin: Sediment trap results from the Cariaco Basin. *Limnology and Oceanography*, 45:300–308.
- Tim, N. & Bravo de Guenni, L. (2016). Oceanic influence on the precipitation in Venezuela under current and future climate. *Climate Dynamics*, 47(1): 211-234. DOI: 10.1007/s00382-015-2832-6.
- van Daele, M., Audemard, F., Beck, C., de Batist, M., van Welden, A., Moernaut, J. & Shipboard Party, G. (2008). Reconstruction of Sea/Lake-Level Changes in an Active Strike-Slip Basin (Gulf of Cariaco, NE Venezuela). AGU Spring Meeting Abstracts, A2. Descargado de <http://adsabs.harvard.edu/abs/2008AGUSMPP31A..02V>.
- Vizy, E. K. & Cook, K. H. (2006). Relationship between Amazon and High Andes Rainfall. *Journal of Geophysical Research*, 112(D7), 2156:220. DOI: 10.1029/2006JD007980.



I.2 EVALUACIÓN DE LOS MODELOS CLIMÁTICOS DEL IPCC AR5 PARA VENEZUELA

Coordinador líder

Jesús Augusto Gómez

Autor líder

José Manuel Pérez Godoy

Palabras clave: modelos AR5, modelos climáticos, América del Sur, Venezuela.



Figura I.2.1 Planta Centro Edo Carabobo. Fotografía Alicia Villamizar y Rafael Lairet CentenoJes.

I.2.1 Introducción

El IPCC (2014) concluye que los modelos climáticos han mejorado desde el Cuarto Informe de Evaluación (AR4). Los modelos reproducen patrones y tendencias de la temperatura en superficie a escala continental observados a lo largo de muchos decenios, en particular el calentamiento más rápido producido desde mediados del siglo XX y el enfriamiento que se produce inmediatamente tras las grandes erupciones volcánicas. Las simulaciones de modelos climáticos a largo plazo muestran una tendencia positiva en la temperatura media global en superficie, entre 1951 y 2012, que coincide con la tendencia observada. Sin embargo, existen diferencias entre las tendencias de las simulaciones y las observadas a lo largo de períodos cortos de 10 a 15 años (por ejemplo, de 1998 a 2012) (IPCC, 2014).

A escala regional, la confianza en la capacidad de los modelos para simular la temperatura en superficie es menor que a escalas mayores. Sin embargo, existen progresos notables desde el AR4 con nivel de confianza alto en cuanto a que la temperatura en superficie a escala regional se simula mejor que cuando se elaboró el AR4 (IPCC, 2014). También se reportan progresos en la evaluación de los fenómenos meteorológicos y climáticos extremos. Las tendencias del promedio global en la frecuencia de días y noches extremadamente cálidos y fríos de las simulaciones, durante la segunda mitad del siglo XX, son generalmente coherentes con las observaciones. Igualmente, se han logrado mejoras en la simulación de los patrones a escala continental de las precipitaciones. A escala regional, las simulaciones de las precipitaciones no ofrecen tan buenos resultados, y la evaluación se ve dificultada por las incertidumbres relativas a las observaciones. Actualmente, los modelos reproducen mejor algunos fenómenos climáticos importantes. Existe un nivel de confianza alto en las estadísticas de los monzones y de El Niño-Oscilación del Sur (ENSO), basadas en simulaciones de modelos múltiples (IPCC, 2014). Los modelos climáticos incluyen en la actualidad más procesos de nubes y aerosoles, así como sus interacciones, pero sigue existiendo un nivel de confianza bajo en la representación y cuantificación de estos procesos mediante modelos.

Muchos modelos reproducen los cambios observados en el contenido de calor de la capa superior del océano (0-700 metros) de 1961 a 2005 con un nivel de confianza alto, consiguiendo que la serie temporal promediada de modelos múltiples se sitúe dentro del rango de las estimaciones de observación disponibles para la mayor parte del período.

Los modelos climáticos que incluyen el ciclo del carbono (modelos del sistema Tierra) simulan el patrón global de los flujos de CO₂ océano-atmósfera, con emisión de gases en los trópicos y absorción en las latitudes medias y altas. En la mayoría de estos modelos, el tamaño de los sumideros de carbono terrestres y oceánicos de las simulaciones está dentro del rango de las estimaciones de observación de finales del siglo XX.

I.2.1 Los escenarios del AR5

En el 5to. Informe de Evaluación del IPCC AR5 (IPCC, 2014) se utilizan cuatro posibles trayectorias para las concentraciones de los gases de efecto invernadero (GEI), conocidas como las *Representative Concentration Pathways* (RCP, por sus siglas en inglés) (Tabla I.2.1), generadas a partir de modelos integrados de evaluación seleccionados de la literatura publicada para sustentar las predicciones del clima y proyecciones presentadas por el Grupo de Trabajo 1 (WG1) del AR5 (van Vuuren *et al.*, 2011; IPCC, 2013).

Los RCP se denominan “Rutas de Concentración Representativas” porque se han desarrollado para ser “representativos” de posibles escenarios futuros de emisiones y concentración en la literatura existente. Se centran en las concentraciones de gases de efecto invernadero que conducen directamente a un cambio climático, e incluyen una “vía”, la trayectoria de las concentraciones de gases de efecto invernadero a lo largo del tiempo, para llegar a un forzamiento radiativo al año 2100 (van Vuuren *et al.*, 2011).

Tabla I.2.1 Escenarios de AR5, fuerza radiativa y concentraciones de CO₂.

Escenario	FR (W/m ²)	TENDENCIA	CONCENTRACIÓN CO ₂ (ppm)
RCP2.6	2.6	Decrec. 2100	421
RCP4.5	4.5	Estable 2100	538
RCP6.0	6.0	Creciente	670
RCP8.5	8.5	Creciente	936

Fuente: Wayne, 2013.

Es importante tener en cuenta que las RCP pueden representar una trayectoria resultado de una variedad de políticas. En otras palabras, cada RCP puede ser resultado de diferentes combinaciones de futuros económicos, tecnológicos, demográficos, políticos e institucionales (van Vuuren *et al.*, 2011). Esto difiere de los escenarios utilizados en los informes anteriores del IPCC (escenarios A1, A2, B1, B2 utilizados en el Tercer y Cuarto Informe de Evaluación), cada uno de los cuales asumía una línea evolutiva determinada. Por ejemplo, el A1 representaba un mundo de crecimiento económico muy rápido, con una población mundial alcanzando su nivel más alto a mitad de siglo para luego disminuir y una rápida introducción de tecnologías nuevas más eficaces, mientras que el B2 representaba a la sostenibilidad económica, social y ambiental, con una población creciendo continuamente y con niveles medios de desarrollo y cambios tecnológicos menos rápidos (IPCC, 2014).

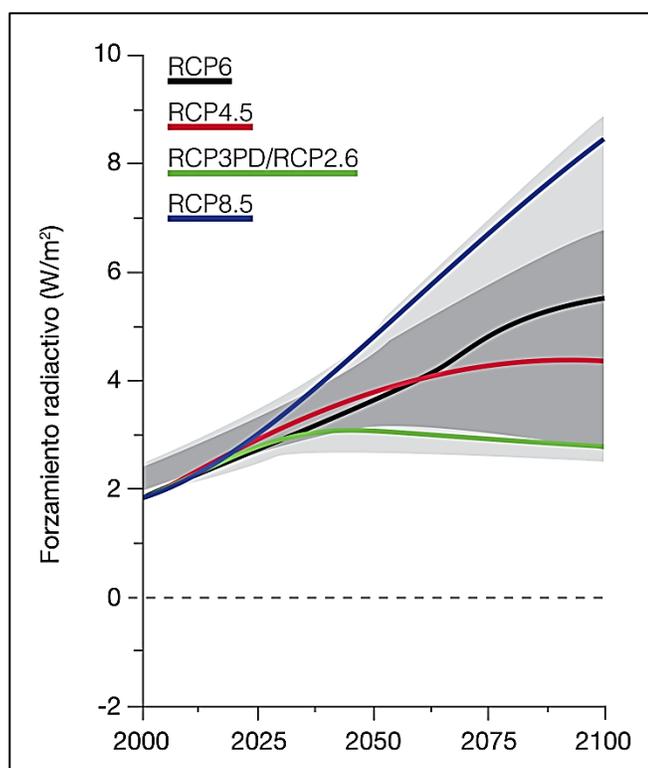


Figura I.2.2 Forzamiento Radiativo de las Vías de Concentración Representativas. El área gris claro captura 98% del rango en escenarios Integrated Assessment Modeling (IAM) anteriores y gris oscuro representa 90% del rango. Fuente: van Vuuren *et al.*, 2011.

Las cuatro trayectorias RCPs son: RCP8.5, RCP6.0, RCP4.5 y RCP2.6 (Figura I.2.2). La RCP2.6 también se conoce como RCP3-PD, donde PD significa *Peak and Decline*. El forzamiento radiativo es una medida de la energía absorbida y retenida en la atmósfera inferior. Por ejemplo, en RCP8.5 el forzamiento radiativo es de 8.5 vatios por metro cuadrado (W/m^2) al 2100. Puede ser positivo (calentamiento) o negativo (enfriamiento) y se ve afectado por la concentración de gases de efecto invernadero, la concentración de aerosol y la irradiación solar (van Vuuren *et al.*, 2011).

A continuación, se presenta una breve descripción del comportamiento relevante descriptivo de las RCP y los valores esperados del forzamiento radiativo al año 2100:

- RCP2.6: Un escenario donde el forzamiento radiativo alcanza un máximo de aproximadamente $3 W/m^2$ antes del 2100 y luego disminuye. El ECP (*Extended Concentration Pathways*) supone las emisiones constantes después del 2100
- RCP4.5 y RCP6.0: Dos escenarios intermedios de estabilización en los que el forzamiento radiativo se estabiliza en aproximadamente $4.5 W/m^2$ y $6.0 W/m^2$ después del 2100 (las RCP correspondientes asumen concentraciones constantes a partir del 2150.)

- RCP8.5: Un escenario que alcanza forzamientos radiativos mayor a 8.5 W/m^2 para el año 2100 y sigue aumentando durante algún tiempo (el ECP correspondiente suponiendo que las emisiones son constantes después del 2100 y las concentraciones son constantes después de 2250).

Para una mayor descripción de escenarios futuros ver WGI AR5 Box 1.1. (IPCC, 2014)

I.2.2 Los modelos climáticos en el AR5

En los últimos años y gracias al advenimiento de la era de supercomputadoras, el uso y aplicación práctica de modelos numéricos, tales como los modelos del clima, han permitido el mejor entendimiento de procesos en la naturaleza para los cuales habría sido muy complejo llevar a cabo ciertos experimentos. Los modelos del sistema climático surgen como una respuesta a la necesidad de poder representar y estudiar con más detalle ciertas interacciones del sistema atmósfera-océano-superficie terrestre en respuesta a posibles forzamientos específicos (IPCC, 2014).

Los modelos climáticos son las herramientas principales disponibles para investigar la respuesta del sistema climático a forzamientos diferentes, para hacer simulaciones del clima en escalas de tiempo estacionales a decadales y para hacer proyecciones del clima futuro en el próximo siglo y más allá.

I.2.2.1 Tipos de modelos climáticos.

Los modelos utilizados en la investigación del clima varían desde los modelos de balance simple de energía a complejos modelos del sistema de tierra (ESMs *Earth System Models*) que requieren computación de alto rendimiento y de última generación. La elección del modelo depende directamente de la pregunta científica que se aborda, como pueden ser aplicaciones que incluyan simulación del paleoclima o clima histórico, sensibilidad, estudios de atributos y entendimiento físico, predicción de la variabilidad climática a corto plazo y cambios en escalas de estacionales a decadales, haciendo proyecciones de cambio climático futuro durante el próximo siglo o en regionalizaciones para dar más detalle a escala regional. El costo computacional es un factor en todos ellos, y los modelos simplificados (con menor complejidad o menor resolución espacial) pueden utilizarse cuando se requieren conjuntos más grandes o más integraciones. Los ejemplos incluyen exploración de sensibilidad de parámetros o simulaciones de cambio climático en el milenio o a escalas de tiempo más largas (IPCC, 2014)

En el [cuadro I.2.1](#) a continuación se presenta una breve descripción de los modelos climáticos, a fin de introducir un marco conceptual que facilite la comprensión del desarrollo del punto referido a su aplicación para Venezuela.

Cuadro I.2.1 Modelos Climáticos

Modelo	Características relevantes
<i>Atmosphere–Ocean General Circulation Models (AOGCMs)</i>	Eran los modelos de clima “estándar” en el AR4. Su función primaria es entender la dinámica de los componentes físicos del sistema climático (atmósfera, océano, tierra y mar congelado) para hacer las proyecciones basadas en el efecto invernadero (Gases de Efecto Invernadero GEI) y el forzamiento de los aerosoles. Estos modelos se utilizan extensivamente y en particular se corren (a veces a mayor resolución) para aplicaciones de predicción del clima estacional a decadal en donde las reacciones biogeoquímicas no son críticas. Además, los AOGCMs de alta resolución o resolución variable a menudo se utilizan en estudios de procesos o aplicaciones con un enfoque en una región en particular.
<i>Earth System Models (ESMs)</i>	Son los modelos del estado del arte de las técnicas actuales, y se aplican sobre los AOGCMs para incluir la representación de varios ciclos biogeoquímicos como los implicados en el ciclo del carbono, el ciclo del azufre y ozono. Estos modelos proporcionan las herramientas más completas para simular la respuesta del pasado y del futuro del sistema climático al forzamiento externo, en el cual las reacciones biogeoquímicas juegan un papel importante.
<i>Earth System Models of Intermediate Complexity (EMICs)</i>	Intentan incluir los componentes relevantes del sistema tierra, pero a menudo de una manera idealizada o en una resolución más baja que los modelos descritos anteriormente. Estos modelos se aplican en ciertas cuestiones científicas para comprender el clima en escalas de tiempo milenario o explorar las sensibilidades en integraciones muy largas del modelo o ensamblaje con grandes conjuntos. Esta clase de modelos a menudo incluyen los componentes del sistema tierra que aún no se han incluido (por ejemplo, capas de hielo). A medida que aumenta la potencia de computación esta clase de modelo avanzan en términos de complejidad y resolución. Avances significativos en las capacidades de EMIC son la inclusión de capas de hielo y modelos de sedimentos en el océano. Estos componentes interactivos adicionales proporcionan conocimientos críticos involucrados en la respuesta del ciclo del carbono y en las estimaciones de subida del nivel del mar en escalas de tiempo milenarias.
<i>Regional Climate Models (RCM)</i>	Son de área limitada con representaciones de los procesos del clima comparables a esos en la atmósfera y a los componentes de la superficie de la tierra de los modelos AOGCMs, aunque suelen funcionar sin océano interactivo y hielo marino. Los RCM se utilizan a menudo para dinámicamente aplicar simulaciones del modelo global a cierta región geográfica reducida para obtener información más detallada, proceso que se conoce como “downscale”. Igualmente, algunos métodos empíricos y estadísticos de “downscaling” constituyen una técnica para proporcionar detalles regionales o locales similares.

I.2.3 Adaptación de los modelos climáticos a Venezuela

Los resultados de los modelos para los escenarios del AR5 están disponibles en el “*Global Climate Change Viewer*” (USGS, *CMIP5 Global Climate Change Viewer*, 2015)^{I.2.1} para las variables de temperatura y precipitación y otras variables climáticas, a nivel mensual, donde se pueden discriminar para obtener la cobertura para el país. En este portal están disponibles los resultados de las simulaciones de 26 modelos hasta el año 2095 separados en cuatro períodos, 1980-2004, 2025-2049, 2050-2074 y 2071-2095. El período 1980-2004 es denominado “período de control” y es el que se compara con los resultados de cada modelo en particular.

La primera opción es seleccionar aquellos modelos que mejor se adapten a las observaciones en el país para las dos variables de mayor relevancia para detectar efectos del cambio climático, como son la temperatura y las precipitaciones. En ambos casos el criterio es mantener los valores dentro del rango de las observaciones y a la vez mostrar una variabilidad estacional similar para el período de control.

^{I.2.1} *We acknowledge the World Climate Research Programme’s Working Group on Coupled Modelling, which is responsible for CMIP, and we thank the climate modeling groups for producing and making available their model output (Tables I.2.2 to I.2.10). For CMIP the U.S. Department of Energy’s Program for Climate Model Diagnosis and Intercomparison provides coordinating support and led development of software infrastructure in partnership with the Global Organization for Earth System Science Portals.*

Los parámetros estadísticos que se disponen en este portal son el error medio cuadrático anual (RMSE) entre los datos simulados y observados, el promedio anual o mensual y las desviaciones estándar para la simulación del control (1980-2004), el sesgo anual o mensual entre los valores simulado menos el observado y el futuro cambio anual o mensual.

El RMSE anual es una medida de qué tan bien el ciclo estacional simulado coincide con el de las observaciones. El sesgo mensual o anual es la diferencia entre el modelo de simulación de control y las observaciones (calculado como control menos observación).

I.2.3.1 Adaptación de la temperatura

La simulación de la temperatura por los modelos climáticos que tienen el error medio cuadrático anual más pequeño y aquellos que tienen el sesgo más pequeño permiten catalogarlos. Los primeros ocho modelos que cumplen estos criterios se pueden discriminar y ordenar tal como se muestran desde la [tabla I.2.2](#) a la [I.2.5](#), para cada uno de los escenarios del AR5.

Los doce modelos que muestran un mejor ajuste a las observaciones de temperatura en Venezuela son: bcc-csm1-1, BNU-ESM, GISS-E2-R, GFDL-CM3, MPI-ESM-LR, HadGEM2-AO, CESM1-WACCM, IPSL-CM5A-MR, CCSM4, GFDL-E-SM2G, MPI-ESM-MR, bcc-csm1-1-m; cuyas características más relevantes se muestran en la [tabla I.2.6](#).

De la [figura I.2.3](#) a la [I.2.6](#) se muestra gráficamente el comportamiento del RCP8.5, RCP6.0, RCP4.5 y RCP2.6 respectivamente, en relación a las observaciones a nivel mensual así como la proyección del cambio de temperatura para el período 2071-2095. Se han seleccionado para estos gráficos solo los primeros seis modelos de mejor adaptación.

Se puede observar que estos modelos se ajustan a la magnitud de la temperatura y mantienen con bastante aproximación el patrón estacional de la temperatura en Venezuela. Se observa también que la proyección para el período 2071-2095 mantiene la distribución estacional similar al período de control y todos pronostican un incremento de la temperatura para finales de los próximos 100 años.

Capítulo I.2 – Evaluación de los modelos climáticos del IPCC AR5 para Venezuela

I.2

Tabla I.2.2 Simulaciones de las variaciones de TEMPERATURA Media Anual (°C) para el período 2071-2095 contra el período 1980-2004 plausibles para Venezuela para modelos climáticos ordenados según RMSE y Sesgo para RCP 8.5.

TEMPERATURA (°C)					
Escenario: RCP 8.5					
Ordenado por: RMSE					
Nombre Modelo	RMSE Anual	Media 1980-2004 (°C)	Desv. 1980-2004 (°C)	Sesgo	Cambio 2071-2095 (°C)
bcc-csm 1-1	0.40	25.64	0.61	-0.05	2.48
BNU-ESM	0.50	25.92	0.53	0.23	3.03
GISS-E2-R	0.59	25.83	0.62	0.14	2.29
GFDL-CM3	0.62	26.93	0.87	1.24	4.76
MPI-ESM-LR	0.70	26.67	1.02	0.98	3.98
HadGEM2-AO	0.70	25.05	0.53	-0.64	3.32
CESM1-WACCM	0.74	26.13	0.78	0.44	3.09
IPSL-CM5A-MR	0.76	26.78	0.66	1.09	3.29
Ordenado por: SESGO					
Nombre Modelo	RMSE Anual	Media 1980-2004 (°C)	Desv. 1980-2004 (°C)	Sesgo	Cambio 2071-2095 (°C)
BNU-ESM	0.50	25.51	0.50	-0.03	2.89
GFDL-CM3	0.62	25.65	0.53	0.11	3.78
bcc-csm 1-1	0.40	25.69	0.42	0.15	2.54
CESM1- WACCM	0.74	25.70	0.31	0.16	2.67
MPI-ESM-LR	0.70	25.83	0.60	0.29	3.39
IPSL-CM5A-MR	0.76	25.88	0.37	0.34	3.40
GISS-E2-R	0.59	25.13	0.46	-0.41	2.10
MPI-ESM-MR	0.85	26.08	0.40	0.53	3.49
Media (26) Modelos	0.48	25.20	0.43	-0.34	2.85

Fuente: USGS, CMIP5 *Global Climate Change Viewer*, 2015.

Tabla I.2.3 Simulaciones de las variaciones de TEMPERATURA Media Anual (°C) para el período 2071-2095 contra el período 1980-2004 plausibles para Venezuela para modelos climáticos ordenados según RMSE y Sesgo para RCP 6.0.

TEMPERATURA (°C)					
Escenario: RCP 6.0					
Ordenado por: RMSE					
Nombre Modelo	RMSE Anual	Media 1980-2004 (°C)	Desv. 1980-2004 (°C)	Sesgo	Cambio 2071-2095 (°C)
bcc-csm 1-1	0.40	25.69	0.42	0.15	2.20
GISS-E2-R	0.59	25.13	0.46	-0.41	1.89
GFDL-CM3	0.62	25.65	0.53	0.11	3.49
HadGEM2-AO	0.70	24.96	0.41	-0.58	2.83
IPSL-CM5A-MR	0.76	25.88	0.40	0.34	2.88
bcc-csm 1-1-m	0.79	26.22	0.42	0.67	2.06
CCSM4	0.83	24.90	0.35	-0.64	2.18
GFDL-E- SM2G	1.01	26.19	0.79	0.65	1.74
Ordenado por: SESGO					
Nombre Modelo	RMSE Anual	Media 1980-2004 (°C)	Desv. 1980-2004 (°C)	Sesgo	Cambio 2071-2095 (°C)
GFDL-CM3	0.62	25.65	0.53	0.11	3.49
bcc-csm 1-1	0.40	25.69	0.42	0.15	2.20
IPSL-CM5A-MR	0.76	25.88	0.40	0.34	2.88
GISS-E2-R	0.59	25.13	0.46	-0.41	1.89
HadGEM2-AO	0.70	24.96	0.41	-0.58	2.83
CCSM4	0.83	24.90	0.35	-0.64	2.18
GFDL-E- SM2G	1.01	26.19	0.79	0.65	1.74
bcc-csm 1-1-m	0.79	26.22	0.42	0.67	2.06
Media (26) Modelos	0.59	25.05	0.41	-0.49	2.46

Fuente: USGS, CMIP5 *Global Climate Change Viewer*, 2015.

Capítulo 1.2 – Evaluación de los modelos climáticos del IPCC AR5 para Venezuela

Tabla 1.2.4 Simulaciones de las variaciones de TEMPERATURA Media Anual (°C) para el período 2071-2095 contra el período 1980-2004 plausibles para Venezuela para modelos climáticos ordenados según RMSE y Sesgo para RCP 4.5.

TEMPERATURA (°C)					
Escenario: RCP 4.5					
Ordenado por: RMSE					
Nombre Modelo	RMSE Anual	Media 1980-2004 (°C)	Desv. 1980-2004 (°C)	Sesgo	Cambio 2071-2095 (°C)
bcc-csm 1-1	0.40	25.69	0.42	0.15	1.78
BNU-ESM	0.50	25.51	0.50	-0.03	2.16
GFDL-CM3	0.62	25.65	0.53	0.11	3.19
CESM1-WACCM	0.64	25.76	0.41	0.22	1.88
MPI-ESM-LR	0.70	25.83	0.60	0.29	2.40
HadGEM2-AO	0.70	24.96	0.40	-0.58	2.80
IPSL-CM5A-MR	0.76	25.88	0.37	0.34	2.67
bcc-csm 1-1-m	0.79	26.22	0.39	0.67	1.62
Ordenado por: SESGO					
Nombre Modelo	RMSE Anual	Media 1980-2004 (°C)	Desv. 1980-2004 (°C)	Sesgo	Cambio 2071-2095 (°C)
BNU-ESM	0.50	25.51	0.50	-0.03	2.16
GFDL-CM3	0.62	25.65	0.53	0.11	3.19
bcc-csm 1-1	0.40	25.69	0.42	0.15	1.78
CESM1-WACCM	0.64	25.76	0.41	0.22	1.88
MPI-ESM-LR	0.70	25.83	0.60	0.29	2.40
IPSL-CM5A-MR	0.76	25.88	0.37	0.34	2.67
MPI-ESM-MR	0.85	26.08	0.40	0.53	2.52
HadGEM2-AO	0.70	24.96	0.40	-0.58	2.80
Media (26) Modelos	0.50	25.18	0.43	-0.36	2.20

Fuente: USGS, CMIP5 *Global Climate Change Viewer*, 2015.

Tabla 1.2.5 Simulaciones de las variaciones de TEMPERATURA Media Anual (°C) para el período 2071-2095 contra el período 1980-2004 plausibles para Venezuela para modelos climáticos ordenados según RMSE y Sesgo para RCP 2.6.

TEMPERATURA (°C)					
Escenario: RCP 4.5					
Ordenado por: RMSE					
Nombre Modelo	RMSE Anual	Media 1980-2004 (°C)	Desv. 1980-2004 (°C)	Sesgo	Cambio 2071-2095 (°C)
bcc-csm 1-1	0.40	25.69	0.42	0.15	0.97
BNU-ESM	0.50	25.51	0.50	-0.03	1.49
GISS-E2-R	0.59	25.13	0.46	-0.41	0.72
GFDL-CM3	0.62	25.65	0.53	0.11	2.29
MPI-ESM-LR	0.70	25.83	0.60	0.29	1.28
Had GEM2 –AO	0.70	24.96	0.41	-0.58	1.02
IPSL-CM5A-MR	0.76	25.88	0.74	0.34	1.21
bcc-csm 1-1-m	0.79	26.22	0.39	0.67	1.04
Ordenado por: SESGO					
Nombre Modelo	RMSE Anual	Media 1980-2004 (°C)	Desv. 1980-2004 (°C)	Sesgo	Cambio 2071-2095 (°C)
BNU-ESM	0.50	25.51	0.50	-0.03	1.49
GFDL-CM3	0.62	25.65	0.53	0.11	2.29
bcc-csm 1-1	0.40	25.69	0.42	0.15	0.97
MPI-ESM-LR	0.70	25.83	0.60	0.29	1.28
IPSL-CM5A-MR	0.76	25.88	0.74	0.34	1.21
GISS-E2-R	0.59	25.13	0.46	-0.41	0.72
MPI-ESM-MR	0.85	26.08	0.40	0.53	1.42
HadGEM2-AO	0.70	24.96	0.41	-0.58	1.02
Media (26) Modelos	0.38	25.36	0.45	-0.18	1.24

Fuente: USGS, CMIP5 *Global Climate Change Viewer*, 2015.

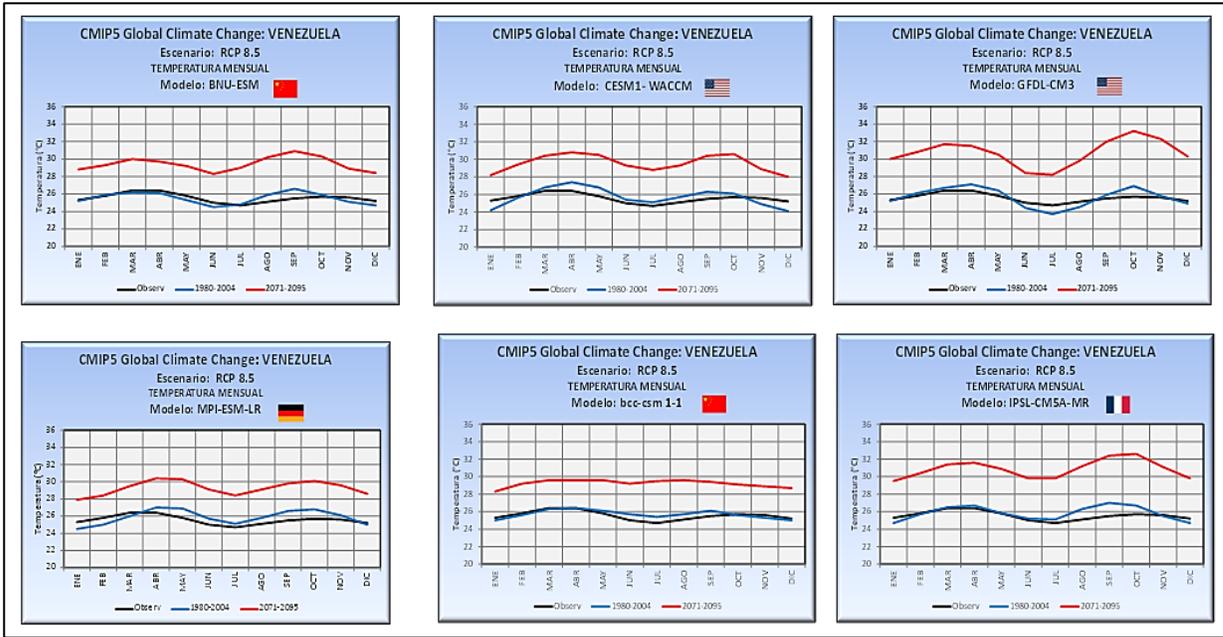


Figura I.2.3 Variaciones mensuales de la temperatura al período 2071-2095 vs período 1980-2001 para modelos climáticos GCM de menor RSE y según el Escenario RCP8.5. Fuente: USGS, CMIP5 *Global Climate Change V*, 2015.

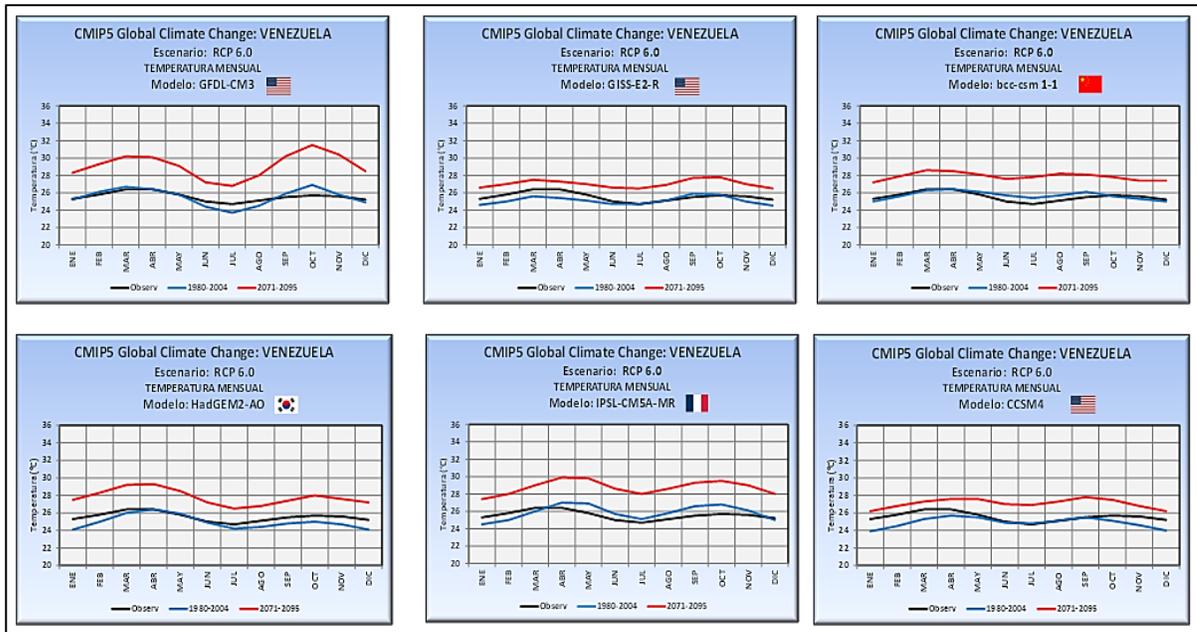


Figura I.2.4 Variaciones mensuales de la temperatura al período 2071-2095 vs período 1980-2001 para modelos climáticos GCM de menor RSE y según el Escenario RCP6.0. Fuente: USGS, CMIP5 *Global Climate Change*, 2015.

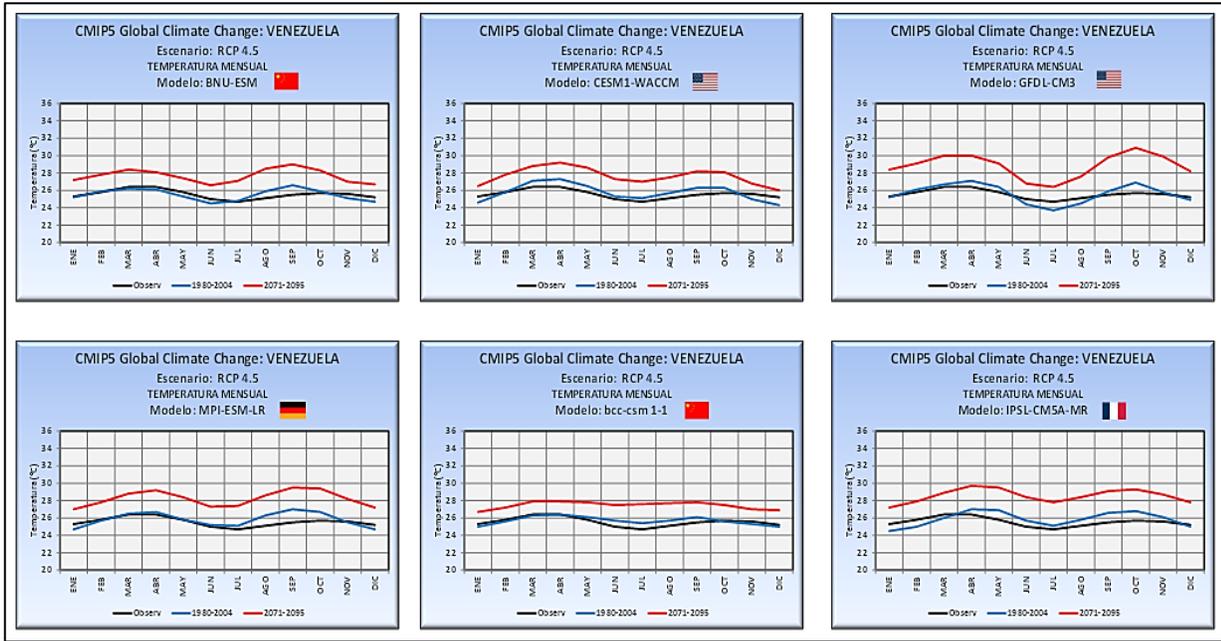


Figura I.2.5 Variaciones mensuales de la temperatura al período 2071-2095 vs período 1980-2001 para modelos climáticos GCM de menor RSE y según el Escenario RCP4.5. Fuente: USGS, CMIP5 *Global Climate Change Viewer*, 2015.

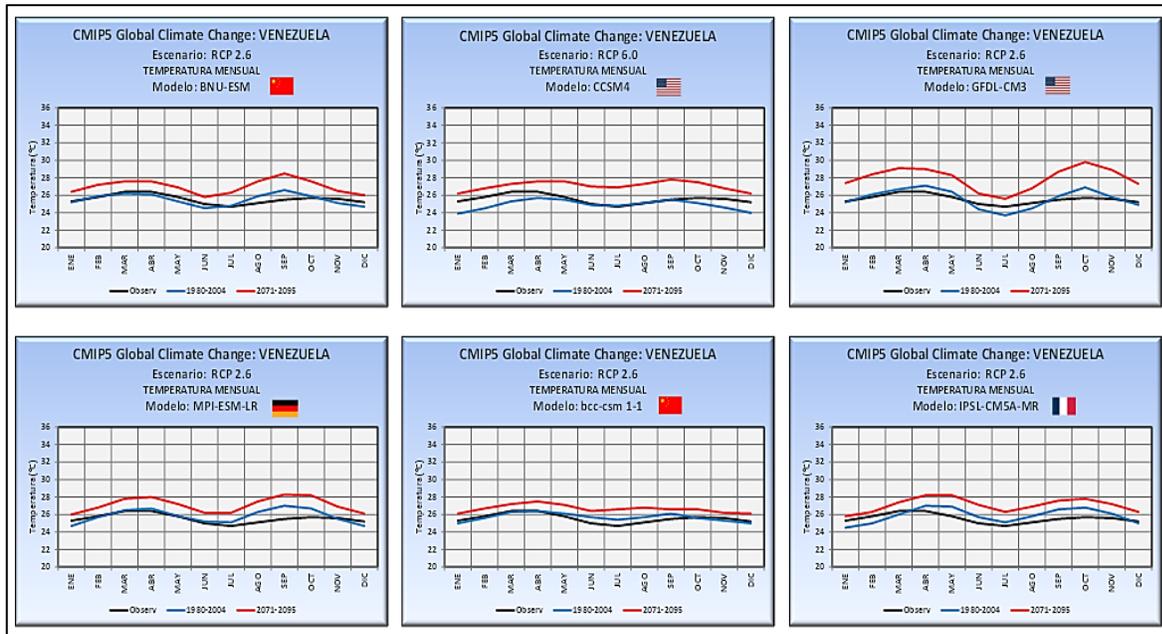


Figura I.2.6 Variaciones mensuales de la temperatura al período 2071-2095 vs período 1980-2001 para modelos climáticos GCM de menor sesgo y según el Escenario RCP2.6. Fuente: USGS, CMIP5 *Global Climate Change Viewer*, 2015.

Cada modelo muestra un incremento diferente cuya magnitud se registra en las [tablas I.2.2, I.2.3, I.2.4 y I.2.5](#) en la columna de “Cambio 2071-2095 (°C)”. De acuerdo a cada escenario, el incremento de temperatura está en un rango máximo de 5°C para el escenario más desfavorable de mayor forzamiento radiativo (RCP 8.5) hasta un rango mínimo de 1°C para el escenario de menor forzamiento radiativo (RCP 2.6).

Tabla I.2.6 Modelos seleccionados representativos de temperatura sobre Venezuela.

		Atmósfera	Aerosol	Química atmosférica	Superficie terrestre	Océano	Biogeoquímica oceánica	Hielo marino
(1) Nombre del modelo (2) Edición	(1) Institución (2) Referencias principales	(1) Nombre del componente (2) Malla horizontal (3) Número de niveles verticales (4) Tope de malla (5) Referencia	(1) Nombre o tipo de componente (2) Referencia	(1) Nombre del componente (2) Referencia	(1) Nombre del componente (2) Referencia	(1) Nombre del componente (2) Resolución horizontal (3) Número de niveles verticales (4) Nivel tope (5) z Co-ord (6) Tope BC (7) Referencias	(1) Nombre del componente (2) Referencia	(1) Nombre del componente (2) Referencia
(1) BNU-ESM (2) 2011	(1) Beijing Normal University (2)	(1) CAM3.5 (2) T42 (3) 26 (4) 2.194 hPa	Semi-interactive	Not implemented	(1)CoLM+BNUDGV M(C/N) (2) (Dai <i>et al.</i> , 2003; Dai <i>et al.</i> , 2004)	(1) MOM4p1 (2) 200(lat) × 360(lon) (3) 50	IBGC	CICE4.1
(1) GFDL-CM3 (2) 2011	(1) NOAA Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (2) (Delworth <i>et al.</i> , 2006; Donner <i>et al.</i> , 2011)	(1) Included (2) ~200 km C48L48 (3) 48 (4) 0.01 hPa (5) (Donner <i>et al.</i> , 2011)	(1) Interactive (2) (Levy <i>et al.</i> , 2013)	(1) Atmospheric Chemistry (2) (Horowitz <i>et al.</i> , 2003 Austin and Wilson, 2006 Sander, 2006)	(1) Included (2) (Milly and Shmakin, 2002 Shevliakova <i>et al.</i> , 2009)	(1) MOM4.1 (2) 1° tripolar 360 × 200L50 (3) 50 (4) 0 m (5) z* (6) non-linear split-explicit (7) (Griffies and Greatbatch, 2012)	Not implemented	(1) SIS (2) (Griffies and Greatbatch, 2012)
(1) BCC-CSM1.1 (2) 2011	(1) Beijing Climate Center, China Meteorological Administration (2) (Wu, 2012; Xin <i>et al.</i> , 2012; Xin <i>et al.</i> , 2013)	(1) BCC_AGCM2.1 (2) T42 T42L26 (3) 26 (4) 2.917 hPa (5) (Wu <i>et al.</i> , 2008b; Wu <i>et al.</i> , 2010b, 2010a; Wu, 2012)	Prescribed	Not implemented	(1) BCC-AVIM1.0 (2) (Ji, 1995; Lu and Ji, 2006; Ji <i>et al.</i> , 2008; Wu, 2012)	(1) MOM4-L40 (2) 1° with enhanced resolution in the meridional direction in tropics (1/3° meridional resolution at the equator) tripolar (3) 40 (4) 25 m (5) z (6) linear split-explicit (7) (Griffies <i>et al.</i> , 2005)	(1) Included (2) Based on the protocols from the Ocean Carbon Cycle Model Intercomparison Project–Phase 2 (OCMIP2, http://www.ipsl.jussieu.fr/OCMIP/phase2/)	(1) GFDL Sea Ice Simulator (SIS) (2) (Winton, 2000)
(1) BCC-CSM1.1(m) (2) 2011	(1) Beijing Climate Center, China Meteorological Administration (2) (Wu, 2012; Xin <i>et al.</i> , 2012; Xin <i>et al.</i> , 2013)	(1) BCC_AGCM2.1 (2) T106 (3) 26 (4) 2.917 hPa (5) (Wu <i>et al.</i> , 2008b; Wu <i>et al.</i> , 2010b, 2010a; Wu, 2012)	Prescribed	Not implemented	(1) BCC-AVIM1.0 (2) (Ji, 1995; Lu and Ji, 2006; Ji <i>et al.</i> , 2008; Wu, 2012)	(1) MOM4-L40 (2) Tri-polar: 1° with enhanced resolution in the meridional direction in the tropics (1/3° meridional resolution at the equator) (3) 40 (4) 25 m (5) z (6) implicit (7) (Griffies <i>et al.</i> , 2005)	(1) Included (2) Based on the protocols from the Ocean Carbon Cycle Model Intercomparison Project–Phase 2 (OCMIP2, http://www.ipsl.jussieu.fr/OCMIP/phase2/)	(1) GFDL Sea Ice Simulator (SIS) (2) (Winton, 2000)

Tabla I.2.6 Cont.

		Atmósfera	Aerosol	Química atmosférica	Superficie terrestre	Océano	Biogeoquímica oceánica	Hielo marino
(1) Nombre del modelo (2) Edición	(1) Institución (2) Referencias principales	(1) Nombre del componente (2) Malla horizontal (3) Número de niveles verticales (4) Tope de malla (5) Referencia	(1) Nombre o tipo de componente (2) Referencia	(1) Nombre del componente (2) Referencia	(1) Nombre del componente (2) Referencia	(1) Nombre del componente (2) Resolución horizontal (3) Número de niveles verticales (4) Nivel tope (5) z Co-ord (6) Tope BC (7) Referencias	(1) Nombre del componente (2) Referencia	(1) Nombre del componente (2) Referencia
(1) CESM1(WACCM) (2) 2010	(1) NSF-DOE-NCAR (2) (Hurrell <i>et al.</i> , 2013)	(1) WACCM4 (2) 1.9o × 2.5o (3) 66 (4) 5.1 × 10–6 hPa	Semi-interactive	Included	(1) CLM4 (2) (Oleson <i>et al.</i> , 2010; Lawrence <i>et al.</i> , 2011; Lawrence <i>et al.</i> , 2012)	(1) POP2 with modifications (2) Nominal 1° (1.125° in longitude, 0.27–0.64° variable in latitude) (3) 60 (4) 10 m with surface variables at 5 m (5) depth (level) (6) linearized, implicit free surface with constant-volume ocean (7) (Danabasoglu <i>et al.</i> , 2012)	Not implemented	(1) CICE4 with modifications (2) (Hunke and Lipscomb, 2008; Holland <i>et al.</i> , 2012)
(1) MPI-ESM-LR (2) 2009	(1) Max Planck Institute for Meteorology	(1) ECHAM6 (2) approx. 1.8° T63 (3) 47 (4) 0.01 hPa (5) (Stevens <i>et al.</i> , 2012)	Prescribed	Not implemented	(1) JSBACH (2) (Reick <i>et al.</i> , 2013)	(1) MPIOM (2) average 1.5° GR15 (3) 40 (4) 6 m (5) depth (6) linear implicit (7) (Jungclaus <i>et al.</i> , 2013)	(1) HAMOCC (2) (Maier-Reimer <i>et al.</i> , 2005; Ilyina <i>et al.</i> , 2013)	(1) Included (2) (Notz <i>et al.</i> , 2013)
(1) MPI-ESM-MR (2) 2009	(1) Max Planck Institute for Meteorology	(1) ECHAM6 (2) approx. 1.8° T63 (3) 95 (4) 0.01 hPa (5) (Stevens <i>et al.</i> , 2012)	Prescribed	Not implemented	(1) JSBACH (2) (Reick <i>et al.</i> , 2013)	(1) MPIOM (2) approx. 0.4° TP04 (3) 40 (4) 6 m (5) depth (6) linear implicit (7) (Jungclaus <i>et al.</i> , 2013)	(1) HAMOCC (2) (Maier-Reimer <i>et al.</i> , 2005; Ilyina <i>et al.</i> , 2013)	(1) Included (2) (Notz <i>et al.</i> , 2013)
(1) IPSL-CM5A-MR (2) 2009	(1) Institut Pierre Simon Laplace (2) (Dufresne <i>et al.</i> , 2012)	(1) LMDZ5 (2) 144 × 143 equivalent to 1,25° × 2.5° LMDZ144 × 143 (3) 39 (4) 0.04 hPa (5) (Hourdin <i>et al.</i> , 2012)	Semi-interactive	Not implemented	(1) Included (2) (Krinner <i>et al.</i> , 2005)	(1) Included (2) 2 × 2-0.5° ORCA2 (3) 31 (4) 0 m (5) depth (6) linear filtered (7) (Madec, 2008)	(1) PISCES (2) (Aumont <i>et al.</i> , 2003; Aumont and Bopp, 2006)	(1) Included (2) (Fichefet and Maqueda, 1999)

Tabla I.2.6 Cont.

		Atmósfera	Aerosol	Química atmosférica	Superficie terrestre	Océano	Biogeoquímica oceánica	Hielo marino
(1) Nombre del modelo (2) Edición	(1) Institución (2) Referencias principales	(1) Nombre del componente (2) Malla horizontal (3) Número de niveles verticales (4) Tope de malla (5) Referencia	(1) Nombre o tipo de componente (2) Referencia	(1) Nombre del componente (2) Referencia	(1) Nombre del componente (2) Referencia	(1) Nombre del componente (2) Resolución horizontal (3) Número de niveles verticales (4) Nivel tope (5) z Co-ord (6) Tope BC (7) Referencias	(1) Nombre del componente (2) Referencia	(1) Nombre del componente (2) Referencia
(1) GISS-E2-R (2) 2011	(1) NASA Goddard Institute for Space Studies USA (2) (Schmidt <i>et al.</i> , 2006). See note for GISS-E2-H	(1) Included (2) 2° latitude × 2.5° longitude F (3) 40 (4) 0.1 hPa	(1) Interactive (2) (Bauer <i>et al.</i> , 2007; Tsigaridis and Kanakidou, 2007; Menon <i>et al.</i> , 2010; Koch <i>et al.</i> , 2011) Note: Aerosol is "fully interactive" for p2 and p3, "semi interactive" for p1	(1) G-PUCCINI (2) (Shindell <i>et al.</i> , 2013) Note: Atmos Chem is "fully interactive" for p2 and p3, "semi interactive" for p1	Included	(1) Russell Ocean (2) 1° latitude × 1.25° longitude. Russell 1 × 1Q (3) 32 (4) 0 m (5) z*-coordinate (6) other	Not implemented	Included
(1) HadGEM2-AO (2) 2009	(1) National Institute of Meteorological Research Korea Meteorological Administration (2) (Collins <i>et al.</i> , 2011; Martin <i>et al.</i> , 2011)	(1) HadGAM2 (2) 1.875° in longitude by 1.25° in latitude N96 (3) 60 (4) 84132.439 m (5) (Davies <i>et al.</i> , 2005)	(1) Interactive (2) (Bellouin <i>et al.</i> , 2011)	Not implemented	(1) Included (2) (Cox <i>et al.</i> , 1999; Essery <i>et al.</i> , 2003)	(1) Included (2) 1.875° in longitude by 1.25° in latitude N96 (3) (4) (5) z (6) linear implicit (7) (Bryan and Lewis, 1979; Johns <i>et al.</i> , 2006);	Not implemented	(1) Included (2) (Thorndike <i>et al.</i> , 1975; McLaren <i>et al.</i> , 2006)
(1) CCSM4 (2) 2010	(1) US National Centre for Atmospheric Research (2) (Gent <i>et al.</i> , 2011)	(1) CAM4 (2) 0.9° × 1.25° (3) 27 (4) 2.194067 hPa (5) (Neale <i>et al.</i> , 2010; Neale <i>et al.</i> , 2013)	(1) Interactive (2) (Neale <i>et al.</i> , 2010; Oleson <i>et al.</i> , 2010; Holland <i>et al.</i> , 2012)	Not implemented	(1) Community Land Model 4 (CLM4) (2) (Oleson <i>et al.</i> , 2010; Lawrence <i>et al.</i> , 2011; Lawrence <i>et al.</i> , 2012)	(1) POP2 with modifications (2) Nominal 1° (1.125° in longitude, 0.27–0.64° variable in latitude) (3) 60 (4) 10 m thick with surface variables at 5 m (5) depth (level) (6) linearized, implicit free surface with constant-volume ocean (7) (Danabasoglu <i>et al.</i> , 2012)	Not implemented	(1) CICE4 with modifications (2) (Hunke and Lipscomb, 2008; Holland <i>et al.</i> , 2012)

Fuente: IPCC, 2013.

I.2.3.2 Adaptación de la precipitación

La simulación de la precipitación por los modelos climáticos que tienen el error medio cuadrático anual más pequeño y aquellos que tienen el sesgo más pequeño permiten catalogarlos. Los primeros ocho modelos que cumplen estos criterios se pueden discriminar y ordenar tal como se muestran en las [tablas I.2.7, I.2.8, I.2.9 y I.2.10](#), para cada uno de los escenarios del AR5.

Los doce modelos que muestran un mejor ajuste a las observaciones de precipitación en Venezuela son: HadGEM2-cambio climático, HadGEM2-ES, HadGEM2-AO, inmcm4, CESM1-CAM5, GISS-E2-R, CCSM4, CESM1-CAM5, MPI-ESM-LR; cuyas características más relevantes se muestran en la [tabla I.2.11](#).

De la [figura I.2.7](#) a la [I.2.10](#) se muestra gráficamente el comportamiento de los modelos para las diferentes trayectorias RCP8.5, RCP6.0, RCP4.5 del cambio de precipitación para el período 2071-2095. Se han seleccionado para estos gráficos solo los primeros seis modelos que presentan mejor ajuste. Se puede observar que el ajuste de la precipitación para el período de control (1980-2004) de los modelos en su mayoría es bastante bueno, así como la distribución estacional mensual. En general los modelos pronostican para el período 2071-2095 una disminución de la precipitación aunque de magnitud relativamente baja, teniéndose una disminución máxima de -1.12 mm/día que representa una disminución del 23.5% para el escenario más desfavorable RCP 8.5 del modelo HadGEM2-AO. En el resto de los modelos para este escenario la disminución de la precipitación oscila desde -0.57 hasta -0.96 mm/día. También es notable que en la mayoría de los modelos esta disminución ocurre a partir del mes de julio hasta diciembre.

Dentro del grupo de modelos seleccionados hay varios modelos que no simulan bien la estacionalidad de la lluvia a pesar de que sus estadísticos de RMSE y sesgo están dentro del rango apropiado.

Capítulo 1.2 – Evaluación de los modelos climáticos del IPCC AR5 para Venezuela

Tabla 1.2.7 Simulaciones de las variaciones de PRECIPITACIÓN Media Anual (mm/día) para el período 2071-2095 contra el período 1980-2004 plausibles para Venezuela para modelos climáticos ordenados según RMSE y Sesgo para RCP 8.5.

PRECIPITACIÓN (mm/día)					
Escenario: RCP 8.5					
Ordenado por: RMSE					
Nombre Modelo	RMSE Anual	Media 1980-2004 (°C)	Desv. 1980-2004 (°C)	Sesgo	Cambio 2071-2095 (°C)
HadGEM2-cambio climático	0.72	5.04	0.43	-0.44	-0.81
HadGEM2-ES	0.83	4.97	0.29	-0.51	-0.96
HadGEM2-AO	1.14	4.76	0.47	-0.72	-1.12
inmcm4	1.40	4.95	0.23	-0.53	-0.59
CESM1-CAM5	2.12	3.73	0.33	-1.75	-0.73
GISS-E2-R	2.31	7.20	0.52	1.72	-0.65
CCSM4	2.42	3.35	0.34	-2.13	-0.57
CESM1-EGC	2.47	3.33	0.30	-2.15	-0.66
Ordenado por: SESGO					
Nombre Modelo	RMSE Anual	Media 1980-2004 (°C)	Desv. 1980-2004 (°C)	Sesgo	Cambio 2071-2095 (°C)
HadGEM2-cambio climático	0.72	5.04	0.43	-0.44	-0.81
HadGEM2-ES	0.83	4.97	0.29	-0.51	-0.96
inmcm4	1.40	4.95	0.23	-0.53	-0.59
HadGEM2-AO	1.14	4.76	0.47	-0.72	-1.12
GISS-E2-R	2.31	7.20	0.52	1.72	-0.65
CESM1-CAM5	2.12	3.73	0.33	-1.75	-0.73
MPI-ESM-MR	2.65	3.54	0.30	-1.95	-0.84
MPI-ESM-LR	2.59	3.50	0.32	-1.98	-0.79
Media (26) Modelos	2.49	3.35	0.32	-2.13	-0.44

Fuente: USGS, CMIP5 *Global Climate Change Viewer*, 2015.

Tabla 1.2.8 Simulaciones de las variaciones de PRECIPITACIÓN Media Anual (mm/día) para el período 2071-2095 contra el período 1980-2004 plausibles para Venezuela para modelos climáticos ordenados según RMSE y Sesgo para RCP 6.0.

PRECIPITACIÓN (mm/día)					
Escenario: RCP 6.0					
Ordenado por: RMSE					
Nombre Modelo	RMSE Anual	Media 1980-2004 (°C)	Desv. 1980-2004 (°C)	Sesgo	Cambio 2071-2095 (°C)
HadGEM2-ES	0.83	4.97	0.23	-0.51	-0.16
HadGEM2-AO	1.14	4.76	0.43	-0.72	-0.62
CESM1-CAM5	2.12	3.73	0.23	-1.75	-0.38
GISS-E2-R	2.31	7.20	0.52	1.72	-0.17
CCSM4	2.42	3.35	0.30	-2.13	-0.38
GISS-E2-H	2.86	7.67	0.39	2.19	-0.03
NorESM1-ME	2.87	2.90	0.00	-2.58	-0.50
NorESM1-M	2.93	2.84	0.33	-2.64	-0.42
Ordenado por: SESGO					
Nombre Modelo	RMSE Anual	Media 1980-2004 (°C)	Desv. 1980-2004 (°C)	Sesgo	Cambio 2071-2095 (°C)
HadGEM2-ES	0.83	4.97	0.23	-0.51	-0.16
HadGEM2-AO	1.14	4.76	0.43	-0.72	-0.62
GISS-E2-R	2.31	7.20	0.52	1.72	-0.17
CESM1-CAM5	2.12	3.73	0.23	-1.75	-0.38
CCSM4	2.42	3.35	0.30	-2.13	-0.38
GISS-E2-H	2.86	7.67	0.39	2.19	-0.03
NorESM1-ME	2.87	2.90	0.00	-2.58	-0.50
NorESM1-M	2.93	2.84	0.33	-2.64	-0.42
Media (26) Modelos	2.26	3.55	0.32	-1.93	-0.18

Fuente: USGS, CMIP5 *Global Climate Change Viewer*, 2015.

Tabla I.2.9 Simulaciones de las variaciones de PRECIPITACIÓN Media Anual (mm/día) para el período 2071-2095 contra el período 1980-2004 plausibles para Venezuela para modelos climáticos ordenados según RMSE y Sesgo para RCP 4.5.

PRECIPITACIÓN (mm/día)					
Escenario: RCP 4.5					
Ordenado por: RMSE					
Nombre Modelo	RMSE Anual	Media 1980-2004 (°C)	Desv. 1980-2004 (°C)	Sesgo	Cambio 2071-2095 (°C)
HadGEM2-cambio climático	0.72	5.04	0.43	-0.44	-0.42
HadGEM2-ES	0.83	4.97	0.29	-0.51	-0.34
HadGEM2-AO	1.14	4.76	0.47	-0.72	-0.18
inmcm4	1.40	4.95	0.23	-0.53	-0.33
CESM1-CAM5	2.12	3.73	0.32	-1.75	-0.31
CCSM4	2.42	3.35	0.34	-2.13	-0.28
CESM1-BGC	2.47	3.33	0.30	-2.15	-0.30
MPI-ESM-LR	2.59	3.50	0.32	-1.98	-0.32
Ordenado por: SESGO					
Nombre Modelo	RMSE Anual	Media 1980-2004 (°C)	Desv. 1980-2004 (°C)	Sesgo	Cambio 2071-2095 (°C)
HadGEM2-cambio climático	0.72	5.04	0.43	-0.44	-0.42
HadGEM2-ES	0.83	4.97	0.29	-0.51	-0.34
inmcm4	1.40	4.95	0.23	-0.53	-0.33
HadGEM2-AO	1.14	4.76	0.47	-0.72	-0.18
CESM1-CAM5	2.12	3.73	0.32	-1.75	-0.31
MPI-ESM-MR	2.65	3.54	0.30	-1.95	-0.35
MPI-ESM-LR	2.59	3.50	0.32	-1.98	-0.32
CCSM4	2.42	3.35	0.34	-2.13	-0.28
Media (26) Modelos	2.54	3.25	0.33	-2.23	-0.21

Fuente: USGS, CMIP5 *Global Climate Change Viewer*, 2015.

Tabla I.2.10 Simulaciones de las variaciones de PRECIPITACIÓN Media Anual (mm/día) para el período 2071-2095 contra el período 1980-2004 plausibles para Venezuela para modelos climáticos ordenados según RMSE y Sesgo para RCP 2.6.

PRECIPITACIÓN (mm/día)					
Escenario: RCP 4.5					
Ordenado por: RMSE					
Nombre Modelo	RMSE Anual	Media 1980-2004 (°C)	Desv. 1980-2004 (°C)	Sesgo	Cambio 2071-2095 (°C)
HadGEM2-ES	0.83	4.97	0.23	-0.51	0.27
HadGEM2-AO	1.14	4.76	0.43	-0.72	-0.01
CESM1-CAM5	2.12	3.73	0.23	-1.75	-0.08
GISS-E2-R	2.31	7.20	0.52	1.72	-0.06
CCSM4	2.42	3.35	0.30	-2.13	-0.15
MPI-ESM-LR	2.59	3.50	0.32	-1.98	-0.30
MPI-ESM-MR	2.65	3.54	0.30	-1.95	-0.42
9GISS-E2-H	2.86	7.67	0.39	2.19	-0.20
Ordenado por: SESGO					
Nombre Modelo	RMSE Anual	Media 1980-2004 (°C)	Desv. 1980-2004 (°C)	Sesgo	Cambio 2071-2095 (°C)
HadGEM2-ES	0.83	4.97	0.23	-0.51	0.27
HadGEM2-AO	1.14	4.76	0.43	-0.72	-0.01
CESM1-CAM5	2.12	3.73	0.23	-1.75	-0.08
GISS-E2-R	2.31	7.20	0.52	1.72	-0.06
CCSM4	2.42	3.35	0.30	-2.13	-0.15
MPI-ESM-LR	2.59	3.50	0.32	-1.98	-0.30
MPI-ESM-MR	2.65	3.54	0.30	-1.95	-0.42
GISS-E2-H	2.86	7.67	0.39	2.19	-0.20
Media (26) Modelos	2.41	3.40	0.32	-2.08	-0.08

Fuente: USGS, CMIP5 *Global Climate Change Viewer*, 2015.

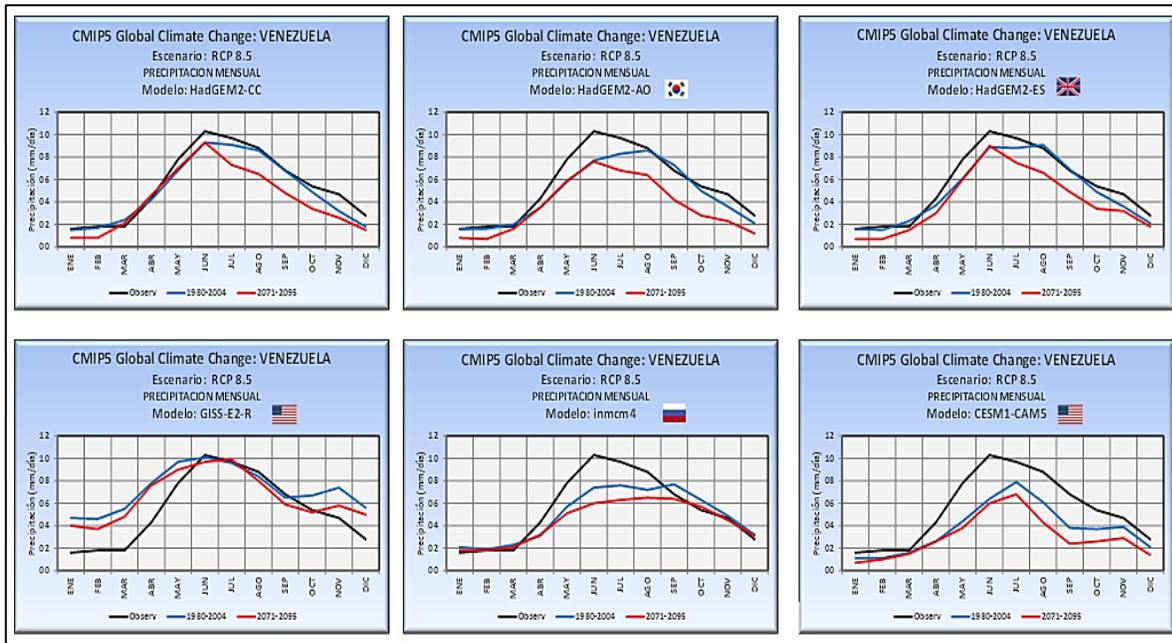


Figura I.2.7 Variaciones mensuales de la precipitación al período 2071-2095 vs período 1980-2001 para modelos climáticos GCM de menor sesgo y según el Escenario RCP8.5. Fuente: USGS, CMIP5 Global Climate Change Viewer, 2015.

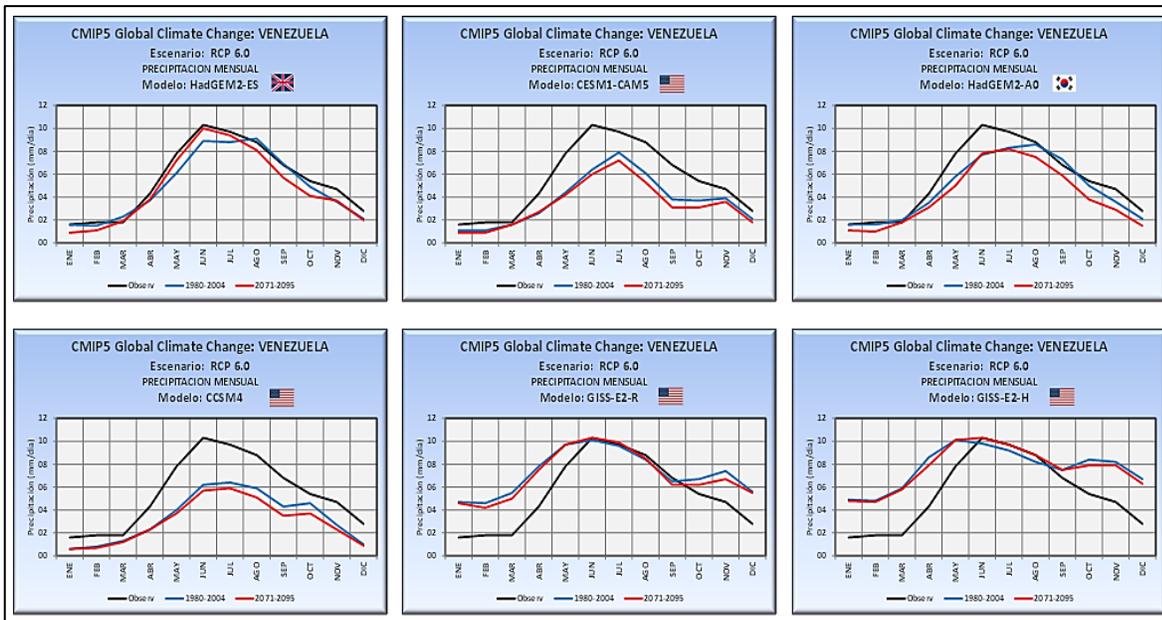


Figura I.2.8 Variaciones mensuales de la precipitación al período 2071-2095 vs período 1980-2001 para modelos climáticos GCM de menor sesgo y según el Escenario RCP6.0. Fuente: USGS, CMIP5 Global Climate Change Viewer, 2015.

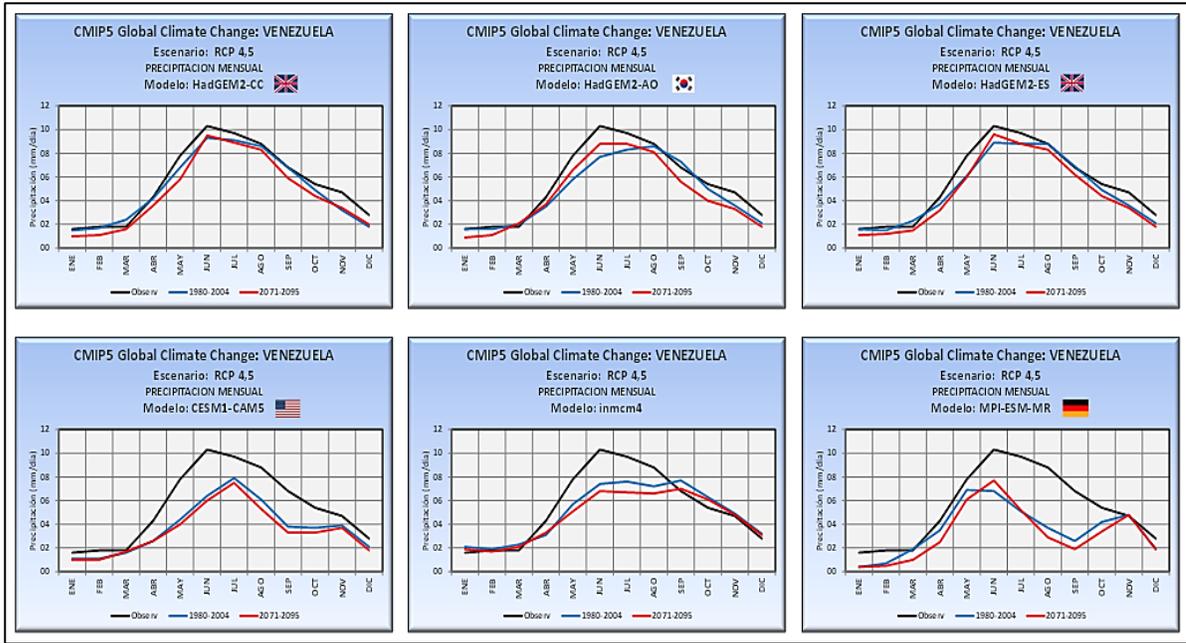


Figura I.2.9 Variaciones mensuales de la precipitación al período 2071-2095 vs período 1980-2001 para modelos climáticos GCM de menor sesgo y según el Escenario RCP4.5. Fuente: USGS, CMIP5 Global Climate Change Viewer, 2015.

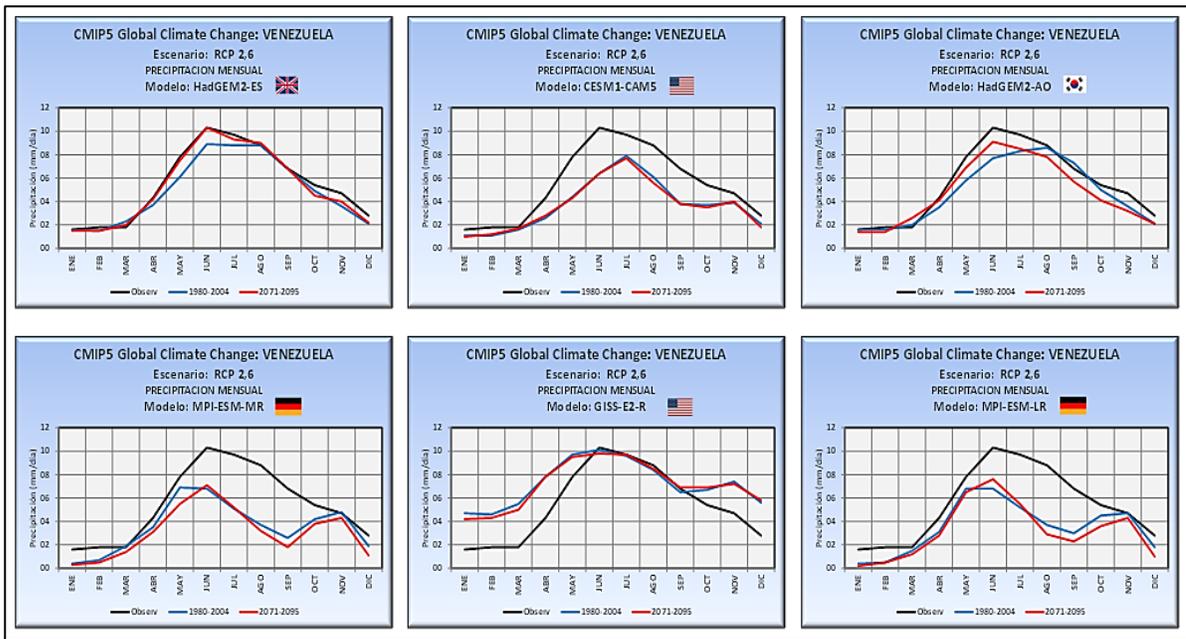


Figura I.2.10 Variaciones mensuales de la precipitación al período 2071-2095 vs período 1980-2001 para modelos climáticos GCM de menor sesgo y según el Escenario RCP2.6. Fuente: USGS, CMIP5 Global Climate Change Viewer, 2015.

Tabla I.2.11 Modelos seleccionados representativos de precipitación sobre Venezuela.

		Atmósfera	Aerosol	Química atmosférica	Superficie terrestre	Océano	Biogeoquímica oceánica	Hielo marino
(1) Nombre del modelo (2) Edición	(1) Institución (2) Referencias principales	(1) Nombre del componente (2) Malla horizontal (3) Número de niveles verticales (4) Tope de malla (5) Referencia	(1) Nombre o tipo de componente (2) Referencia	(1) Nombre del componente (2) Referencia	(1) Nombre del componente (2) Referencia	(1) Nombre del componente (2) Resolución horizontal (3) Número de niveles verticales (4) Nivel tope (5) z Co-ord (6) Tope BC (7) Referencias	(1) Nombre del componente (2) Referencia	(1) Nombre del componente (2) Referencia
(1) HadGEM2-cambio climático (2) 2010	(1) UK Met Office Hadley Centre (2) (Collins <i>et al.</i> , 2011 ; Martin <i>et al.</i> , 2011)	(1) HadGAM2 (2) 1.875° in longitude by 1.25° in latitude N96 (3) 60 (4) 84132.439 m (5) (Davies <i>et al.</i> , 2005)	(1) Interactive (2) (Bellouin <i>et al.</i> , 2011)	(1) Atmospheric Chemistry (2) (Jones <i>et al.</i> , 2001; Martin <i>et al.</i> , 2011)	(1) Included (2) (Cox <i>et al.</i> , 1999; Essery <i>et al.</i> , 2003)	(1) Included (2) 1.875° in longitude by 1.25° in latitude N96 (3) (4) (5) z (6) linear implicit (7) (Bryan and Lewis, 1979; Johns <i>et al.</i> , 2006)	(1) Included (2) (Palmer and Totterdell, 2001; Halloran, 2012)	(1) Included (2) (Thorndike <i>et al.</i> , 1975; McLaren <i>et al.</i> , 2006)
(1) HadGEM2-ES (2) 2009	(1) UK Met Office Hadley Centre (2) (Collins <i>et al.</i> , 2011; Martin <i>et al.</i> , 2011)	(1) HadGAM2 (2) 1.875° in longitude by 1.25° in latitude N96 (3) 38 (4) 39254.8 m (5) (Davies <i>et al.</i> , 2005)	(1) Interactive (2) (Bellouin <i>et al.</i> , 2011)	(1) Atmospheric Chemistry (2) (O'Connor <i>et al.</i> , 2009)	(1) Included (2) (Cox <i>et al.</i> , 1999; Essery <i>et al.</i> , 2003)	(1) Included (2) 1° by 1° between 30 N/S and the poles; meridional resolution increases to 1/3° at the equator N180 (3) 40 (4) 5.0 m (5) z (6) linear implicit (7) (Bryan and Lewis, 1979; Johns <i>et al.</i> , 2006)	(1) Included (2) (Palmer and Totterdell, 2001; Halloran, 2012)	(1) Included
(1) HadGEM2-AO (2) 2009	(1) National Institute of Meteorological Research Korea Meteorological Administration (2) (Collins <i>et al.</i> , 2011; Martin <i>et al.</i> , 2011)	(1) HadGAM2 (2) 1.875° in longitude by 1.25° in latitude N96 (3) 60 (4) 84132.439 m (5) (Davies <i>et al.</i> , 2005)	(1) Interactive (2) (Bellouin <i>et al.</i> , 2011)	Not implemented	(1) Included (2) (Cox <i>et al.</i> , 1999; Essery <i>et al.</i> , 2003)	(1) Included (2) 1.875° in longitude by 1.25° in latitude N96 (3) (4) (5) z (6) linear implicit (7) (Bryan and Lewis, 1979; Johns <i>et al.</i> , 2006);	Not implemented	(1) Included (2) (Thorndike <i>et al.</i> , 1975; McLaren <i>et al.</i> , 2006)

Tabla I.2.11 Cont.

		Atmósfera	Aerosol	Química atmosférica	Superficie terrestre	Océano	Biogeoquímica oceánica	Hielo marino
(1) Nombre del modelo (2) Edición	(1) Institución (2) Referencias principales	(1) Nombre del componente (2) Malla horizontal (3) Número de niveles verticales (4) Tope de malla (5) Referencia	(1) Nombre o tipo de componente (2) Referencia	(1) Nombre del componente (2) Referencia	(1) Nombre del componente (2) Referencia	(1) Nombre del componente (2) Resolución horizontal (3) Número de niveles verticales (4) Nivel tope (5) z Co-ord (6) Tope BC (7) Referencias	(1) Nombre del componente (2) Referencia	(1) Nombre del componente (2) Referencia
(1) GISS-E2-R (2) 2011	(1) NASA Goddard Institute for Space Studies USA (2) (Schmidt <i>et al.</i> , 2006) See note for GISS-E2-H	(1) Included (2) 2° latitude × 2.5° longitude F (3) 40 (4) 0.1 hPa	(1) Interactive (2) (Bauer <i>et al.</i> , 2007; Tsigaridis and Kanakidou, 2007; Menon <i>et al.</i> , 2010; Koch <i>et al.</i> , 2011) Note: Aerosol is “fully interactive” for p2 and p3, “semi interactive” for p1	(1) G-PUCCINI (2) (Shindell <i>et al.</i> , 2013) Note: Atmos Chem is “fully interactive” for p2 and p3, “semi interactive” for p1	Included	(1) Russell Ocean (2) 1° latitude × 1.25° longitude. Russell 1 × 1Q (3) 32 (4) 0 m (5) z*-coordinate (6) other	Not implemented	Included
(1) GISS-E2-H (2) 2004	(1) NASA Goddard Institute for Space Studies USA (2) (Schmidt <i>et al.</i> , 2006) Note: all GISS models come in three flavours: p1 = noninteractive composition, p2= interactive composition, p3 = interactive composition + interactive AIE	(1) CAM4 (2) 2° latitude × 2.5° longitude F (3) 40 (4) 0.1 hPa	(1) Interactive (2) (Bauer <i>et al.</i> , 2007; Tsigaridis and Kanakidou, 2007; Menon <i>et al.</i> , 2010; Koch <i>et al.</i> , 2011) Note: Aerosol is “fully interactive” for p2 and p3, “semi interactive” for p1	(1) G-PUCCINI (2) (Shindell <i>et al.</i> , 2013) Note: Atmos Chem is “fully interactive” for p2 and p3, “semi interactive” for p1	(1) Included	(1) HYCOM Ocean (2) 0.2 to 1° latitude × 1° longitude HYCOM (3) 26 (4) 0 m (5) hybrid z isopycnic (6) nonlinear split-explicit (7)	Not implemented	(1) Included

Tabla I.2.11 Cont.

		Atmósfera	Aerosol	Química atmosférica	Superficie terrestre	Océano	Biogeoquímica oceánica	Hielo marino
(1) Nombre del modelo (2) Edición	(1) Institución (2) Referencias principales	(1) Nombre del componente (2) Malla horizontal (3) Número de niveles verticales (4) Tope de malla (5) Referencia	(1) Nombre o tipo de componente (2) Referencia	(1) Nombre del componente (2) Referencia	(1) Nombre del componente (2) Referencia	(1) Nombre del componente (2) Resolución horizontal (3) Número de niveles verticales (4) Nivel tope (5) z Co-ord (6) Tope BC (7) Referencias	(1) Nombre del componente (2) Referencia	(1) Nombre del componente (2) Referencia
(1) CESM1-CAM5 (2) 2010	(1) NSF-DOE-NCAR (2) (Hurrell <i>et al.</i> , 2013)	(1) Community Atmosphere Model 5 (CAM5) (2) 0.9° × 1.25° (3) 27 (4) 2.194067 hPa (5) (Neale <i>et al.</i> , 2010; Neale <i>et al.</i> , 2013)	(1) Semi-interactive (2) (Neale <i>et al.</i> , 2010; Oleson <i>et al.</i> , 2010; Holland <i>et al.</i> , 2012)	Not implemented	(1) CLM4 (2) (Oleson <i>et al.</i> , 2010) (Lawrence <i>et al.</i> , 2011; Lawrence <i>et al.</i> , 2012)	(1) POP2 with modifications (2) Nominal 1° (1.125° in longitude, 0.27–0.64° variable in latitude) (3) 60 (4) 10 m with surface variables at 5 m (5) depth (level) (6) linearized, implicit free surface with constant-volume ocean (7) (Danabasoglu <i>et al.</i> , 2012)	Not implemented	(1) CICE4 with modifications (2) (Hunke and Lipscomb, 2008; Holland <i>et al.</i> , 2012)
(1) INM-CM4 (2) 2009	(1) Russian Institute for Numerical Mathematics (2) (Volodin <i>et al.</i> , 2010)	(1) Included (2) 2 × 1.5° in longitude and latitude latitude-longitude (3) 21 (4) sigma = 0.01	Prescribed	Not implemented	(1) Included (2) (Alekshev <i>et al.</i> , 1998; Volodin and Lykosov, 1998)	(1) Included (2) 1 × 0.5° in longitude, latitude generalized spherical coordinates with poles displaced outside ocean (3) 40 (4) sigma = 0.0010426 (5) sigma (6) linear implicit (7) (Volodin <i>et al.</i> , 2010; Zalesny <i>et al.</i> , 2010)	(1) Included (2) (Volodin, 2007)	(1) Included (2) (Yakovlev, 2009)

Tabla I.2.11 Cont.

		Atmósfera	Aerosol	Química atmosférica	Superficie terrestre	Océano	Biogeoquímica oceánica	Hielo marino
(1) Nombre del modelo (2) Edición	(1) Institución (2) Referencias principales	(1) Nombre del componente (2) Malla horizontal (3) Número de niveles verticales (4) Tope de malla (5) Referencia	(1) Nombre o tipo de componente (2) Referencia	(1) Nombre del componente (2) Referencia	(1) Nombre del componente (2) Referencia	(1) Nombre del componente (2) Resolución horizontal (3) Número de niveles verticales (4) Nivel tope (5) z Co-ord (6) Tope BC (7) Referencias	(1) Nombre del componente (2) Referencia	(1) Nombre del componente (2) Referencia
(1) CCSM4 (2) 2010	(1) US National Centre for Atmospheric Research (2) (Gent <i>et al.</i> , 2011)	(1) CAM4 (2) 0.9° × 1.25° (3) 27 (4) 2.194067 hPa (5) (Neale <i>et al.</i> , 2010; Neale <i>et al.</i> , 2013)	(1) Interactive (2) (Neale <i>et al.</i> , 2010; Oleson <i>et al.</i> , 2010; Holland <i>et al.</i> , 2012)	Not implemented	(1) Community Land Model 4 (CLM4) (2) (Oleson <i>et al.</i> , 2010; Lawrence <i>et al.</i> , 2011; Lawrence <i>et al.</i> , 2012)	(1) POP2 with modifications (2) Nominal 1° (1.125° in longitude, 0.27–0.64° variable in latitude) (3) 60 (4) 10 m thick with surface variables at 5 m (5) depth (level) (6) linearized, implicit free surface with constant-volume ocean (7) (Danabasoglu <i>et al.</i> , 2012)	Not implemented	(1) CICE4 with modifications (2) (Hunke and Lipscomb, 2008; Holland <i>et al.</i> , 2012)
(1) MPI-ESM-MR (2) 2009	(1) Max Planck Institute for Meteorology (2)	(1) ECHAM6 (2) approx. 1.8° T63 (3) 95 (4) 0.01 hPa (5) (Stevens <i>et al.</i> , 2012)	Prescribed	Not implemented	(1) JSBACH (2) (Reick <i>et al.</i> , 2013)	(1) MPIOM (2) approx. 0.4° TP04 (3) 40 (4) 6 m (5) depth (6) linear implicit (7) (Jungclaus <i>et al.</i> , 2013)	(1) HAMOCC (2) (Maier-Reimer <i>et al.</i> , 2005; Ilyina <i>et al.</i> , 2013)	(1) Included (2) (Notz <i>et al.</i> , 2013)
(1) MPI-ESM-LR (2) 2009	(1) Max Planck Institute for Meteorology (2)	(1) ECHAM6 (2) approx. 1.8° T63 (3) 47 (4) 0.01 hPa (5) (Stevens <i>et al.</i> , 2012)	Prescribed	Not implemented	(1) JSBACH (2) (Reick <i>et al.</i> , 2013)	(1) MPIOM (2) average 1.5° GR15 (3) 40 (4) 6 m (5) depth (6) linear implicit (7) (Jungclaus <i>et al.</i> , 2013)	(1) HAMOCC (2) (Maier-Reimer <i>et al.</i> , 2005; Ilyina <i>et al.</i> , 2013)	(1) Included (2) (Notz <i>et al.</i> , 2013)

Fuente: IPCC, 2013.

I.2.3.3 Variación espacial de la temperatura y la precipitación al año 2080-2100 respecto al período 1986-2005.

Para este análisis se ha tomado el valor medio de los modelos incorporados en el IPCC AR5. Los valores corresponden al valor medio de los valores de los modelos de tipo GCM presentados en el 5AR.

○ Variaciones de la temperatura.

- Se presenta la [figura I.2.11](#) donde se observa la distribución de la variación de la temperatura al año 2080-2100 con respecto al período patrón, para cada uno de los RCP incorporados dentro del AR5.

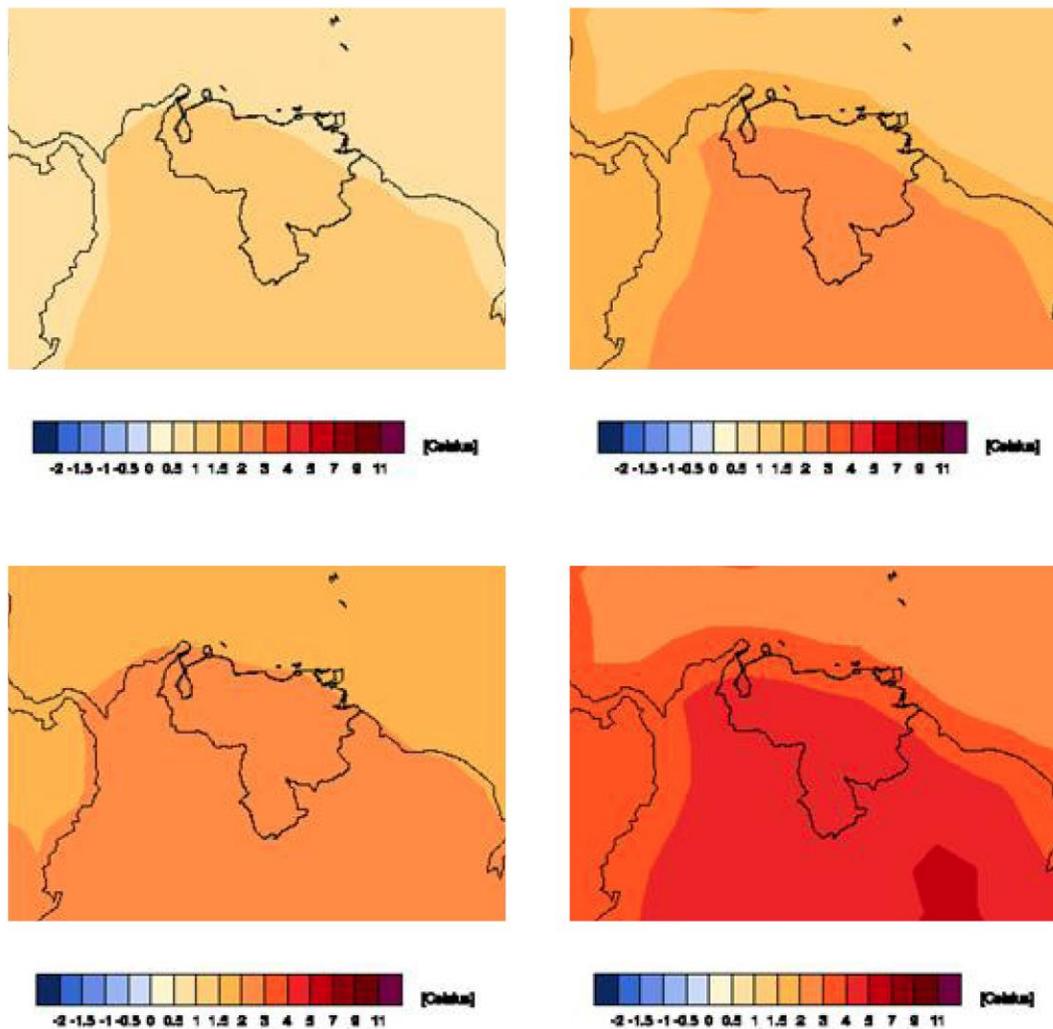


Figura I.2.11 Variaciones de la temperatura en Venezuela al 2080-2100. Figura recuperada de <http://climexp.knmi.nl>

- Para el RCP2.6 se observa un incremento relativamente uniforme sobre toda la extensión del país entre 0,5 a 1,0°C con excepción de una pequeña porción en el oriente que va entre

el NE del estado Bolívar, pasa por el Delta del Orinoco y cierra aproximadamente en Cabo Codera donde el incremento es sólo entre 0 y 0,5°C.

- Para el escenario RCP4.5 la variación de temperatura presenta dos áreas bastante diferenciadas. En toda la región norte, partiendo desde la desembocadura del Orinoco hasta la frontera con Colombia al sur del Lago de Maracaibo, el incremento es de 1,5 a 2,0°C, mientras que, en todo el resto del país, de este a oeste, el incremento previsto alcanzaría entre 2,0 a 3,0°C.
 - Para el RCP6.0 se estima una distribución espacial del cambio de temperatura de una manera uniforme sobre todo el país, alcanzando el incremento entre 2,0 y 3,0°C.
 - Para el RCP8.5 el incremento se presenta en dos áreas diferenciadas. La primera que ocupa la mayor parte de la región centro norte de este a oeste, la cual presenta un incremento entre 3,0 y 4,0°C y todo el resto del país, el sector sur, con un incremento que oscila entre 4,0 y 5,0°C.
- Variaciones de la precipitación.
- Se presenta la [figura I.2.12](#) donde se observa la distribución espacial de las variaciones porcentuales de la precipitación al año 2080-2100 respecto al período de comparación para cada uno de los RCP considerados en el AR5. Las áreas sombreadas, corresponden a aquellas áreas donde los modelos no son concluyentes respecto de signo del cambio o que la variación es bastante pequeña como para aparecer dentro de los rangos indicados.
 - Para el RCP2.5, se presentan variaciones imperceptibles de la precipitación a nivel nacional con excepción de dos pequeñas áreas entre los estados Apure y Barinas y al sur de Anzoátegui donde la variación es entre 0 y 10%.
 - Para el RCP4.5, se presentan cambios insignificantes en Amazonas, Falcón, norte de los estados Carabobo y Yaracuy. La mayor parte del país presenta variación entre 0 y 10 %, mientras que los estados Miranda, norte de Guárico y Anzoátegui presentan variaciones de la precipitación entre 10 y 20 %.
 - Para el RCP6.0 se presentan pequeñas variaciones al norte del estado Carabobo, Falcón y la región Oriental. El centro del país, los llanos y el norte del estado Bolívar presentan variaciones entre 10 y 20 %, mientras que en el resto del país se proyectan variaciones entre 0 y 10%.

- Para el RCP8.5, se presenta una variación continua en sentido incremental sur-norte. En el área suroeste del Amazonas se proyecta cambios imperceptibles. Este cambio va incrementándose a medida que se desplaza hacia el norte hasta alcanzar un cambio porcentual entre 20 y 30% en el norte del estado Zulia, el centro y el oriente del país hasta alcanzar un máximo de variación entre 20 y 30 %.

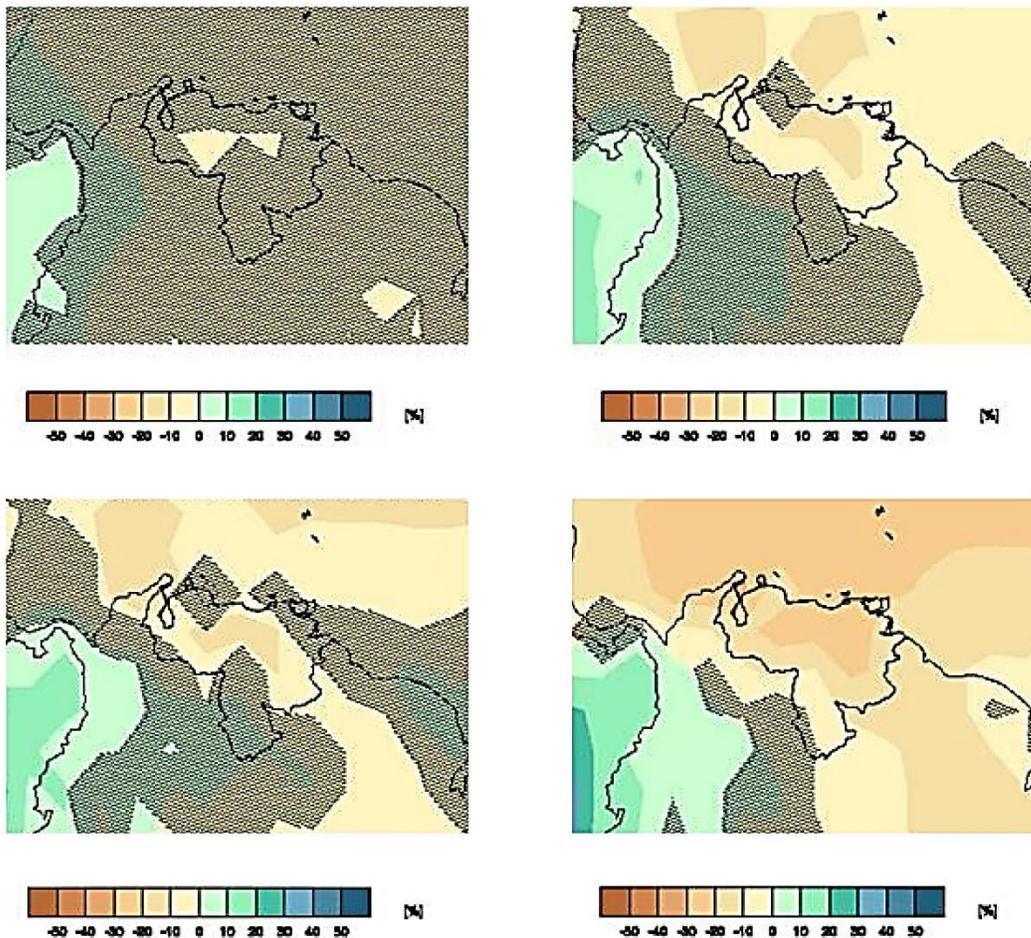


Figura I.2.12 Variaciones de la precipitación en Venezuela al 2080-2100. Figura recuperada de <http://climexp.knmi.nl>

I.2.4 Conclusiones

I.2.4.1 Respecto a los Modelos Climáticos

- En el Reporte IPCC AR5 se ha incorporado un número mayor de nuevos modelos climáticos que permiten tener una información más precisa sobre los efectos del cambio climático en la atmósfera, además de sus efectos en las principales variables climáticas que permiten tener una mayor certeza en cuanto al sentido y magnitud de dichas variables.

- Estos modelos incluyen una gran cantidad de instituciones públicas y privadas de investigación climática diseminada en muchos centros de investigación alrededor del mundo.
- Los modelos climáticos utilizados en el IPCC AR5 representan importantes mejoras con respecto a los modelos climáticos utilizados en el AR4. Estas mejoras se traducen en la resolución espacial de dichos modelos, en el número de intervalos de niveles verticales y en la presión tope con la cual trabajan. Igualmente han reducido el número de funciones descritas por valores paramétricos y han incorporado nuevas variables y funciones que enriquecen los resultados y ajustes a las condiciones cambiantes.
- Según el AR5 a pesar de todas las mejoras incorporadas en los modelos climáticos aún persisten dudas y discrepancias en cuanto a la magnitud de las variaciones y al comportamiento de algunas variables climáticas.
- El análisis de los fenómenos del cambio climático se ha estudiado y modelado a partir de cuatro escenarios o RCP denominados 2.6, 4.5, 6.0 y 8.5, los cuales representan cuatro posibles escenarios de desarrollo económico, social y tecnológico hasta el año 2100.
- Como consecuencia de la aplicación de estos RCP se tiene un amplio rango de variabilidad de las variables climáticas lo cual permite establecer también un rango de posibles medidas de adaptación y mitigación frente a tales cambios.

I.2.4.2 Respecto al uso de los modelos climáticos del AR5 en Venezuela

- Existe un número importante de modelos que replican bastante bien el comportamiento histórico de las variables de temperatura y precipitación.
- La mayor parte de estos modelos seleccionados anteriormente por su menor RMSE y sesgo, representan bastante bien la variación estacional de la temperatura y precipitación.
- Comparando los modelos que se adaptan bien en ambas variables, temperatura y precipitación, solamente hay cuatro modelos que figuran en ambas listas HadGEM2-AO, GISS-E2-R, CCSM4 y MPI-ESM-LR. Como consecuencia de la aplicación de estos RCP se tiene un amplio rango de variabilidad de las variables climáticas lo cual permite establecer también un rango de posibles medidas de adaptación y mitigación frente a tales cambios.
- Los modelos climáticos aplicados en el país arrojan al año 2100, en general, un incremento de temperatura. Este incremento de temperatura es variable entre 0,5 a 1,0°C para el RCP2.6 y 2.5 y

3.5°C para el RCP8.5. Este aumento reflejado no es uniforme en todo el país y se detecta un gradiente negativo de sur a norte, hacia la zona costera.

- Los modelos climáticos aplicados al país indican al año 2100, en general una disminución de la precipitación. Esta disminución de la precipitación es variable entre 0.1 mm/día para el RCP2.6 y 0.3 mm/día para el RCP8.5.

Referencias

- Alder, J. & Hostetler, S. (2013). *CMIP5 Visor Global del Cambio Climático*. US Geological Survey <http://regclim.coas.oregonstate.edu/gccv/index.html> doi: 10.5066 / F72J68W0
- IPCC. (2013): *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp, doi:10.1017/CBO9781107415324.
- IPCC. (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- Meinshausen, M., Smith, S., Calvin, K., Daniel, J., Kainuma, M., Lamarque, J., Matsumoto, K., Montzka, S., Raper, S., Riahi, K., Thomson, A., Velders, G., van Vuuren, D. (2011) The RCP greenhouse gas concentrations and their extensions from 1765 to 2300. *Climatic Change*, 109-213.
- USGS, *CMIP5 Global Climate Change Viewer* (2015). Disponible en <https://www.usgs.gov/software/global-climate-change-viewer-gccv>
- van Vuuren, D., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K., Hurtt, G. C., Kram, T., Krey, V., Lamarque, J. F., Masui, T., Meinshausen, M., Nakicenovic, N., Smith, S.J. & Rose, S.K. (2011). The Representative Concentration Pathways: an overview. *Climatic Change*, 109: 5–31.
- Wayne, G. (2013) *The Beginner's Guide to Representative Concentration Pathways*. Skeptical Science. Recuperado de: https://www.skepticalscience.com/docs/RCP_Guide.pdf. [Consultado el: 13/09/17].



I.3 SISTEMAS OCEÁNICOS

Coordinador y Autor líder
Franklin Paredes-Trejo

Palabras clave: océanos Atlántico y Pacífico, ENSO, ITCZ, variabilidad climática, América del Sur, Venezuela.



Figura I.3.1 Mar Caribe Costa Oriental Edo Falcón, Venezuela. Fotografía Alicia Villamizar.

Acrónimos

AP	Antes del presente (presente definido por 1950)
ASST	Atlantic Ocean Sea Surface Temperatures/ Temperatura del Atlántico Subtropical
ATLN	Anomalías en la temperatura superficial del Oce�no Atlántico Norte
ATLS	Anomalías en la temperatura superficial del Oce�no Atlántico Sur
ATNOR	Temperatura superficial del Atlántico Tropical Norte
BMRC	Bureau of Meteorology Research Centre / Centro de Investigación del Servicio Meteorológico Australiano CLIVAR. Climate Variability and Predictability
CPC	Climate Prediction Center/ Centro de Predicción Climática de la NOAA
CPTEC	Centro Brasileiro para Pronósticos y Estudios del Clima
DIN	Nitrógeno inorgánico disuelto
EDELCA	Electrificación del Caroní C. A.
ELA	Línea de altura de equilibrio glacial
ENSO	El Niño Southern Oscillation / EL Niño Oscilación del Sur
GCM	Modelos climáticos globales / Modelos de Circulación Global
HE	Heinrich del Atlántico Norte
INAMEH	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change / Panel Intergubernamental de Cambio Climático
ITCZ	Intertropical Convergence Zone / Zona de Convergencia Intertropical
MM4	Mesoscale Model Version 4
MM5	Mesoscale Model Version 5
m s.n.m.	Metros Sobre el Nivel del Mar
NAO	North Atlantic Oscillation / Oscilación del Atlántico Norte
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
NPP	Palimorfos sin polen
NTA	North Tropical Atlantic Index / �ndice del Atlántico tropical norte
PSST	Temperatura mensual superficial del Pacífico/ Monthly Pacific Ocean Sea Surface Temperatures
PSU	The Pennsylvania State University
PVM	Modelo de vegetación potencial
ONI	Oceanic El Niño Index / �ndice Oceánico El Niño
QBO	Oscilación Quasi-Bianual
RCM	Regional Circulation Models / Modelos de Circulación Regional
SOI	Southern Oscillation Index / �ndice de Oscilación Sur
SSTA	Sea Surface Temperature Anomalies / Anomalías de la Temperatura de la Superficie del mar
SST	Sea Surface Temperature / Temperatura de la superficie del mar
�GM	�ltimo Glacial Máximo
UNEP-WCMC	United Nations Environment Programme, World Conservation Monitoring Centre / Centro de Observación y Conservación Mundial del Programa de Ambiente de las Naciones Unidas
VM	Variable Macro climática

I.3.1 Introducción

Los océanos Pacífico y Atlántico son las mayores masas oceánicas del planeta. La distribución espacial y temporal de la temperatura de las aguas superficiales en estos océanos determina las condiciones climáticas prevaletientes en América del Sur (Giannini *et al.*, 2000; Pezzi & Cavalcanti, 2001; Grimm & Zilli, 2009). En la porción tropical del Océano Atlántico, se manifiesta la Zona de Convergencia Intertropical (ITCZ) en donde convergen los Alisios provenientes de los cinturones de alta presión semipermanentes situados al norte y sur del Ecuador térmico (alrededor de 20° N y 20° S). Estos cinturones están directamente relacionados con la celda circulatoria de Hadley (Wang, 2004), pues son originados por dos ramas de aire troposférico seco que descienden desde la alta tropósfera, configurando una estructura de doble toroide (Gan *et al.*, 2004). La celda de Hadley puede verse afectada por la celda de Walker. Esta última, es una circulación de aire a gran escala situada sobre el Océano Pacífico Tropical e impulsada en gran medida por el gradiente térmico que se da en su superficie (England *et al.*, 2014).

El sentido de circulación e intensidad de los vientos en la celda Walker es afectado por el fenómeno El Niño Oscilación del Sur (ENSO), el cual consiste en una modificación temporal del patrón normal de distribución espacial de la temperatura mensual superficial del pacífico (PSST). ENSO muestra dos fases: i) El Niño, caracterizada por la presencia de una masa de agua anómalamente cálida; y ii) La Niña, donde la condición térmica es opuesta. El Niño se inicia con un aumento progresivo de la PSST sobre la porción centro-este de esta región oceánica (5° N – 5° S; 170° O – 120° O), seguido por su propagación hacia las costas de Perú y Ecuador (Kirtman, 1997; Seager *et al.*, 2005). En general, este fenómeno tiene una evolución temporal cuasi-cíclica, con dos frecuencias dominantes en los rangos 2-4 y 4-6 años (An & Wang, 2000).

El análisis de los eventos El Niño más fuertes revelaron que los cambios oceánicos pueden ir acoplados con una circulación anómala en las celdas Walker y Hadley, así como un desplazamiento atípico de la ZCIT en sentido meridional (más al sur o más al norte de su posición habitual), lo cual suele favorecer la ocurrencia de rachas secas o lluvias persistentes en amplias regiones de América del Sur (Nobre & Shukla, 1996; Andreoli & Kayano, 2005).

La relación entre las fases de ENSO (caliente: El Niño; fría: La Niña) y ciertos eventos climáticos extremos en América del Sur ha sido ampliamente documentada (Grimm *et al.*, 2000; Grimm & Tedeschi, 2009). Adicionalmente, la evidencia observacional y las salidas de modelos numéricos han revelado la existencia de modos de variación oscilatorios con muy baja frecuencia en los procesos de calentamiento y enfriamiento masivo de las aguas superficiales en los océanos Pacífico y Atlántico a escalas decadal y multidecadal, los cuales tienden a intensificar o debilitar los episodios ENSO, según el

tipo de acoplamiento oce no-atmósfera que se presente (Newman *et al.*, 2003; Schoennagel *et al.*, 2005).

Las mediciones realizadas en la temperatura de la superficie del mar (SST) en los oce nos Pacífico y Atlántico a través de boyas, así como las estimaciones por percepción remota han permitido descubrir un significativo calentamiento generalizado de sus aguas superficiales, el cual ha sido atribuido parcialmente, a factores antrópicos (Díaz *et al.*, 2001; Meehl *et al.*, 2007; Falvey & Garreaud, 2009). Aunque algunos estudios paleo-climáticos sostienen, sobre la base del análisis detallado de ciertos proxis (ej., sedimentos marinos, anillos de crecimiento de árboles, núcleos de hielo entre otros), que este fenómeno a escala global podrá vincularse con modos de variación naturales que no son bien conocidos (Seltzer *et al.*, 2002; Mann & Jones, 2003; Chambers *et al.*, 2007).

Hoy en día se sabe que el régimen de precipitación en el territorio venezolano es controlado principalmente por la posición geográfica que ocupa la ITCZ sobre el Oce no Atlántico Norte a lo largo del año (Rojas & Alfaro, 2000; Poveda *et al.*, 2006; Tim & de Guenni, 2015). Mientras que, en la región costera y el Mar Caribe, las perturbaciones tropicales que se originan y propagan a través del Oce no Atlántico Norte, así como la intrusión de frentes fríos extra-tropicales suelen tener mayor influencia que la ITCZ como mecanismo generador de lluvias (ej., ondas del este; Ramírez, 2007). En general, la ITCZ impulsa la temporada de lluvias desde junio a agosto en casi todo el país (verano boreal).

Como fue comentado, la actividad y la posición de la ITCZ anualmente son controladas por la distribución espacial de la SST en las porciones tropicales de los oce nos Pacífico y Atlántico. En efecto, a lo largo de un año, el Ecuador térmico (porción oceánica más cálida a escala global), se desplaza en sentido norte-sur-norte, acoplado con la ITCZ.

El ciclo anual de la ITCZ puede variar en el tiempo. De hecho, los cambios más significativos, como su desplazamiento excesivo hacia el sur o al norte con relación al Ecuador geográfico, han coincidido con la ocurrencia de eventos climáticos extremos en el territorio venezolano; ej., sequías meteorológicas (Gabaldón, 2008; Paredes *et al.*, 2008). En este punto, cabe destacar que la vinculación entre la SST y las condiciones climáticas dominantes sobre el territorio venezolano es muy compleja tanto en el contexto espacial como temporal (esta asociación se denomina teleconexi n). A manera de ejemplo, Mendoza & Puche (2014) y más recientemente Quiroz *et al.* (2016), refirieron la evolución de una fuerte y extensiva sequía entre junio y agosto de 1973. Para este período, la [figura I.3.2](#) muestra la SST expresada como anomalía, en la cual se evidencia los rasgos t picos de la fase fría de ENSO (banda de aguas frías desde el centro del Pacífico Central hasta Perú (color azul fuerte) junto a aguas anómalamente cálidas costa afuera del nordeste de Brasil y anómalamente frías costa afuera del noroeste de África. La configuración de las anomalías de la temperatura de la superficie del mar (SSTA)

en el Atlántico se denomina Dipolo del Atlántico Norte (De Souza *et al.*, 2000; Marshall *et al.*, 2011) y se le considera un potente modulador de la ITCZ, que desplaza esta última más al sur de su posición normal (Geber *et al.*, 2009; Prado & Wainer, 2013).

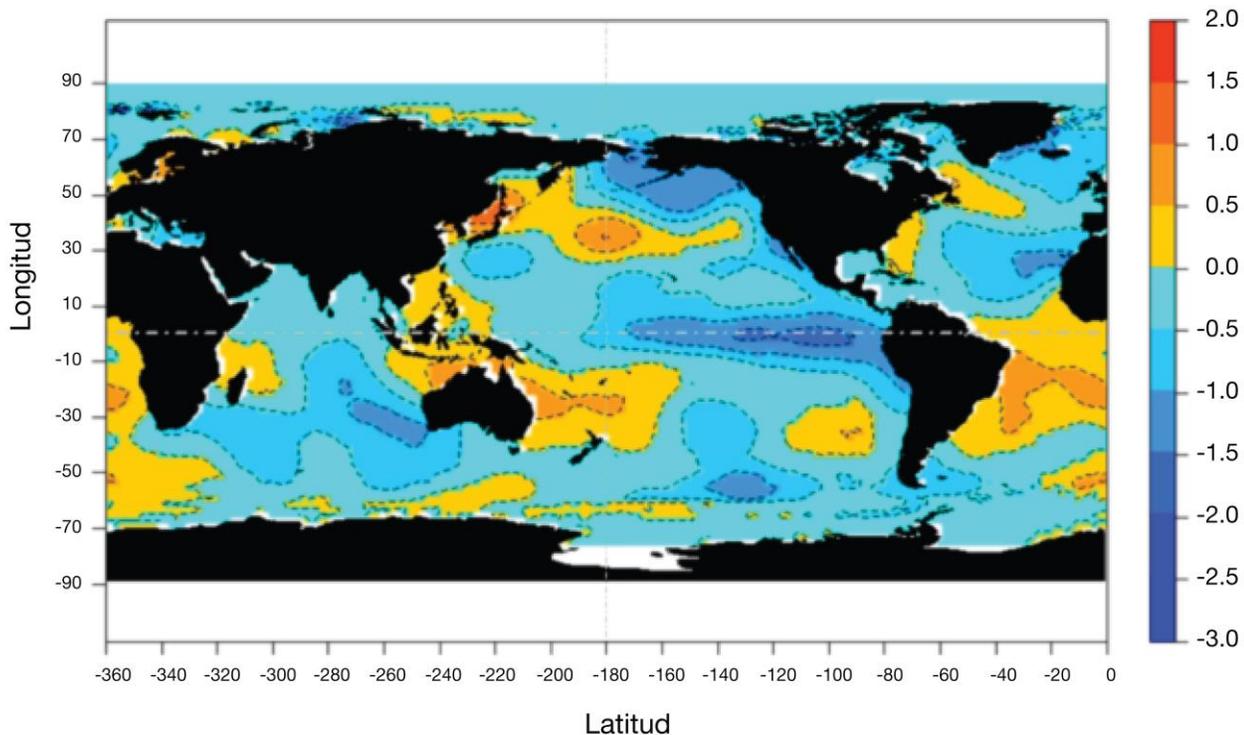


Figura I.3.2 SSTA en grados centígrados promediada desde junio hasta agosto de 1973. Período base: 1981-2010. Figura adaptada de NOAA, *Extended Reconstructed SST V4*^{I.3.1}.

En contraste, las condiciones persistentemente secas, registradas entre marzo y diciembre del año 2015 sobre gran parte del territorio venezolano (Figura I.3.3), coincidieron con el patrón oceánico que ilustra la figura I.3.4. Las diferencias entre ambos episodios, en el ámbito oceánico, son relevantes. Se observa que el evento del año 2015 destaca por la presencia de una masa de aguas frías al suroeste de Groenlandia, junto a un muy bien estructurado El Niño que se extendió hasta costa afuera de Canadá. Estos hitos dan cuenta que no solamente El Niño desencadena sequías masivas en Venezuela.

^{I.3.1} Recuperada de <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.noaa.ersst.v4.html>.

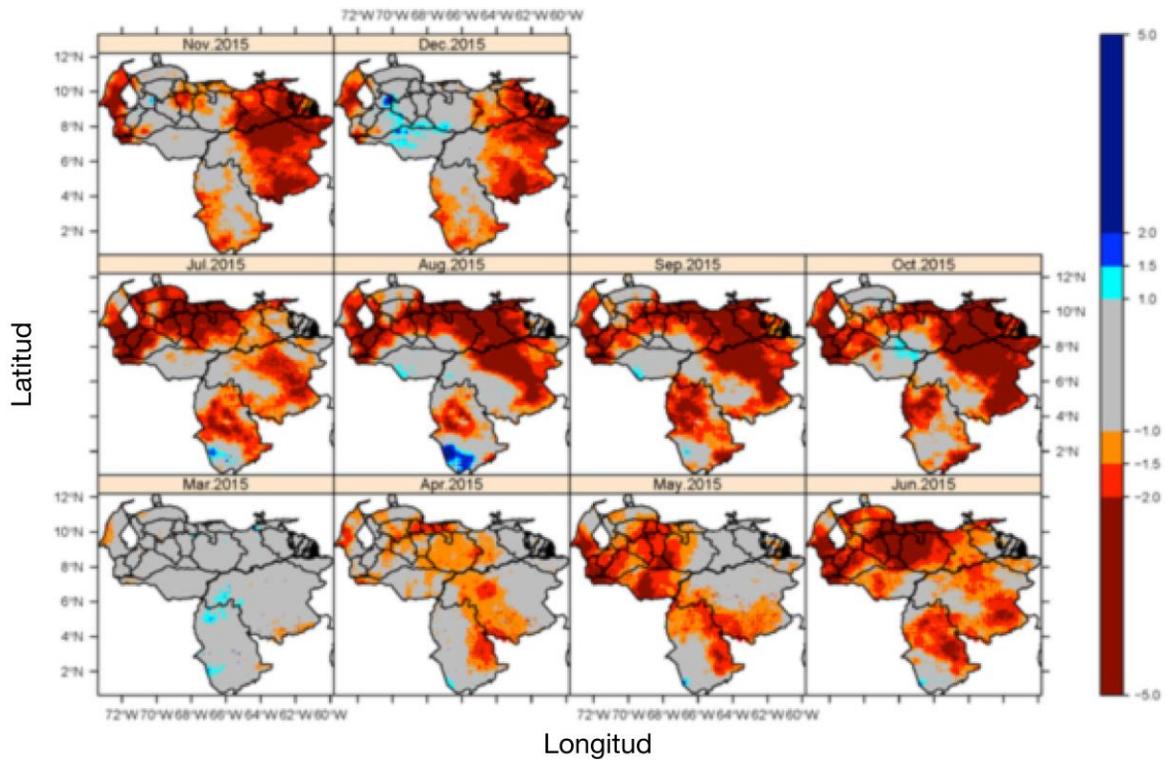


Figura I.3.3 Índice de precipitación estandarizado trimestral en Venezuela desde marzo hasta diciembre del año 2015. Período base: 1981-2016. Condición ambiental dominante: no seca ($SPI \geq 1.00$); cerca de lo normal ($0.99 \geq SPI > -1.00$); moderadamente seca ($-1.00 \geq SPI > -1.50$); severamente seca ($-1.50 \geq SPI > -2.00$); extremadamente seca ($SPI \leq -2.00$). Fuente: CHIRPS v2.0, *Climate Hazards Group, InfraRed Precipitation with Station data*^{1,3,2}.

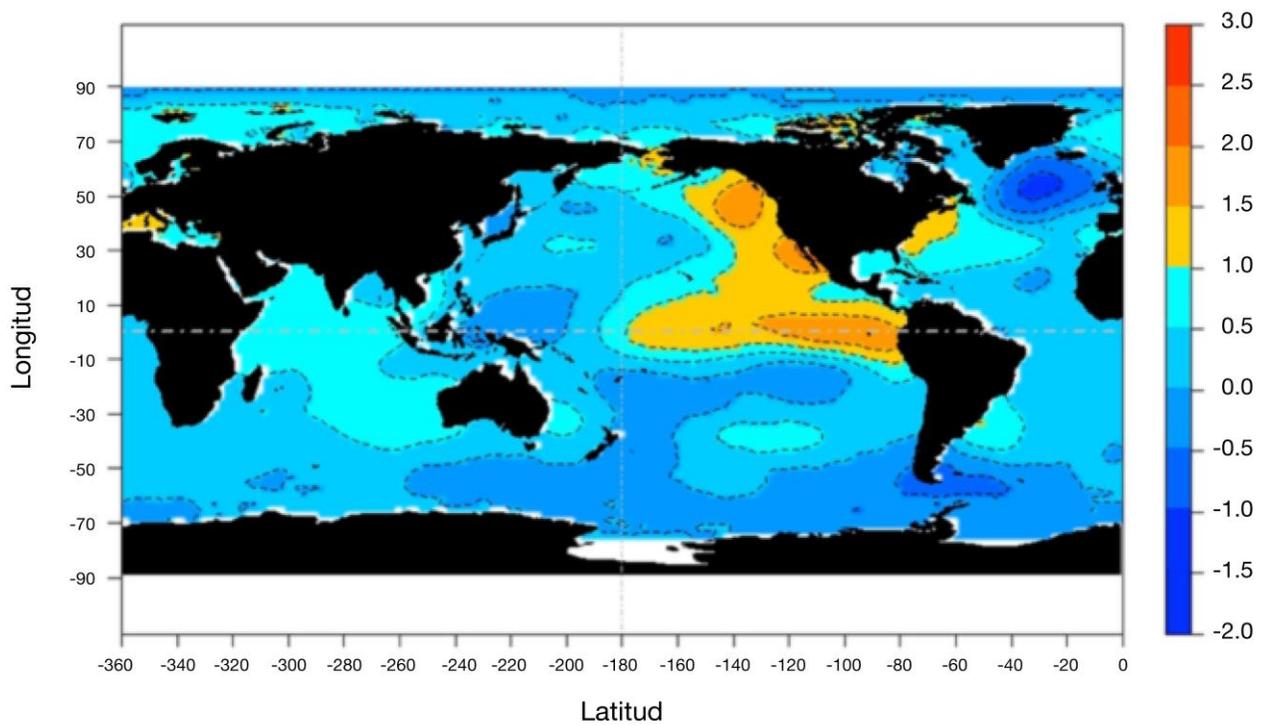


Figura I.3.4 SSTA en grados centígrados promediada desde marzo hasta diciembre del año 2015. Período base: 1981-2010. Figura adaptada de NOAA, *Extended Reconstructed SST V4*.

^{1,3,2} Recuperada de <http://chg.geog.ucsb.edu/data/chirps/>.

I.3.2 Influencia de los océanos Pacífico y Atlántico sobre la variabilidad climática de Venezuela

I.3

Para profundizar sobre la modulación que ejercen los océanos Pacífico y Atlántico sobre la variabilidad climática en Venezuela, particularmente en lo referente al régimen de precipitaciones, se analizan muy brevemente algunos interesantes indicadores. La **figura I.3.5** muestra la precipitación mensual expresada como anomalía promediada sobre el área continental de Venezuela desde enero 1950 hasta diciembre 2013. Se observa que el promedio móvil evidencia una secuencia subyacente de períodos con condiciones pluviométricas predominantemente secas en: 10/1957-09/1960, 05/1964-11/1965 y 04/1973-03/1975; y condiciones predominantemente húmedas en: 10/1953-05/1956 y 02/1980-03/1982. Esta característica es coherente con los hallazgos de Mendoza & Puche (2014) y Quiroz *et al.*(2016), y revela la alternancia de episodios secos y húmedos de gran cobertura espacial y persistentes sobre el territorio venezolano a través del tiempo.

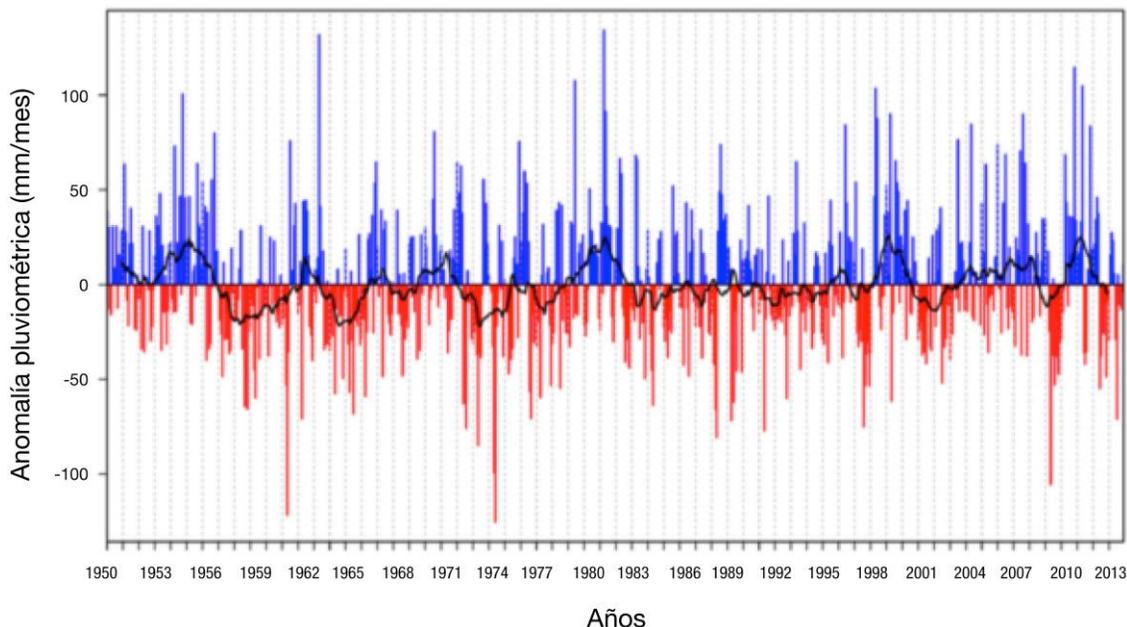


Figura I.3.5 Precipitación mensual promediada sobre la región continental de Venezuela expresada como anomalía en mm/mes desde enero 1950 hasta diciembre 2013. La anomalía está referida al período base 1950-2013. La línea negra gruesa es un promedio móvil centrado de 24 meses. Fuente: Servicio Meteorológico Alemán, GPCC *Full Data Reanalysis* v.7^{1.3.3}.

Las **figuras I.3.5** y **I.3.6** muestran los valores mensuales del Índice Oceánico El Niño (ONI) y la SSTA en la región oceánica denominada Atlántico Norte, respectivamente. Debe subrayarse que estos índices han sido usados extensivamente para monitorear la SSTA en los referidos campos oceánicos (Seager *et al.*, 2005; Dai, 2013). Mientras que la **figura I.3.8**, presenta el valor del coeficiente de correlación lineal de Pearson que resulta al contrastar las anomalías pluviométricas promediadas

^{1.3.3} Recuperada de <http://gpcc.dwd.de/>

especialmente sobre el territorio venezolano y las variables indicadas en las figuras I.3.5 y I.3.6. La comparación visual de las figuras I.3.4, I.3.5 y I.3.6 sugiere una asociación entre las anomalías pluviométricas sobre el territorio venezolano y la SSTA en los océanos Pacífico y Atlántico. Un análisis más detallado, del cual se deriva la figura I.3.8, revela que: i) la variabilidad de la SSTA en la porción tropical del océano Pacífico tiene una mayor potencia de modulación sobre la variabilidad pluviométrica que su contraparte Atlántica (basado en la magnitud de r), en particular, durante los bimestres diciembre-enero y agosto-septiembre. En este último, se da un acoplamiento inverso (ej., SSTA positivo tiende a coincidir con aportes pluviométricos deficitarios); ii) el acoplamiento térmico entre ambas regiones oceánicas es más fuerte entre febrero y abril, y resulta de igual signo (es decir, tienden a enfriarse o calentarse en sincronía); iii) durante la sequía del período 10/1957-09/1960 (Figura I.3.5), el acoplamiento térmico entre las regiones oceánicas fue significativo ($|r| > 0.8$) y la variabilidad de la SSTA en la porción tropical del océano Atlántico tuvo mayor potencia de modulación sobre la variabilidad pluviométrica que su contraparte del Pacífico (no mostrado aquí). En general, los eventos secos masivos pueden ser explicados por esta teleconexi n, aunque no todos ellos; iv) durante el período anómalo húmedo 10/1953-05/1956 (Figura I.3.5), el acoplamiento térmico es bastante difuso, pues ambas porciones oceánicas no fueron persistentemente frías o cálidas. En todo caso, estos resultados preliminares son consistentes con los descritos detalladamente por Martelo (2003) y Tim & de Guenni (2015) e ilustran la influencia oceánica sobre las condiciones climáticas en Venezuela.

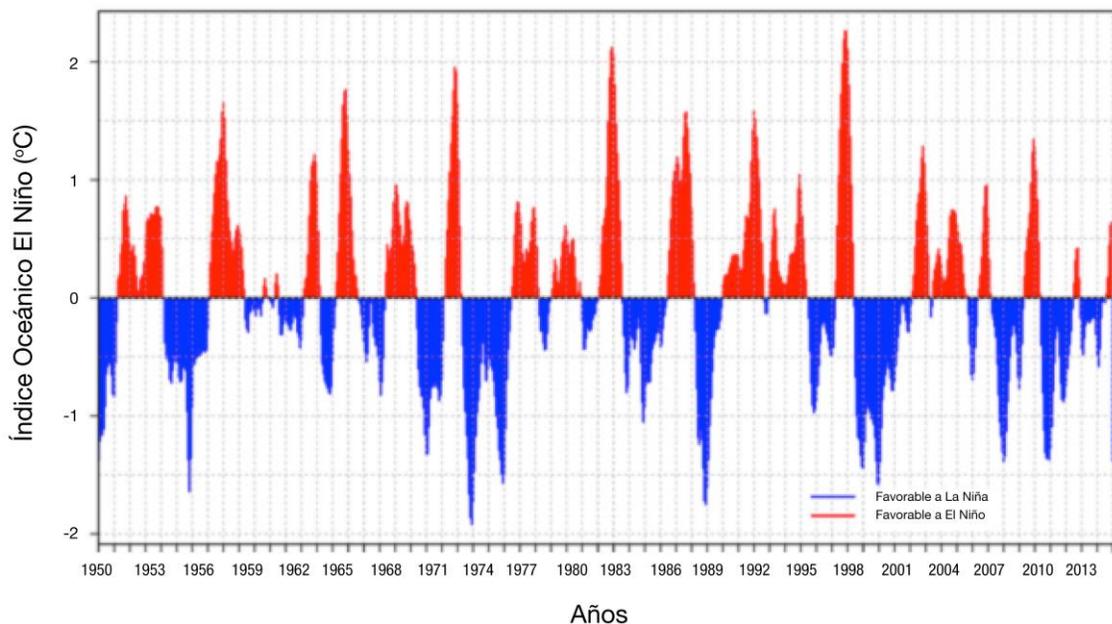


Figura I.3.6 ONI desde enero 1950 hasta mayo 2015. ONI es un promedio trimestral móvil centrado de la SST expresada como anomalía referida a la normal climática 1981-2000, en la región oceánica Niño 3.4 (5  N a 5  S, 120-170  O). Figura recuperada de <http://www.esrl.noaa.gov/psd>.

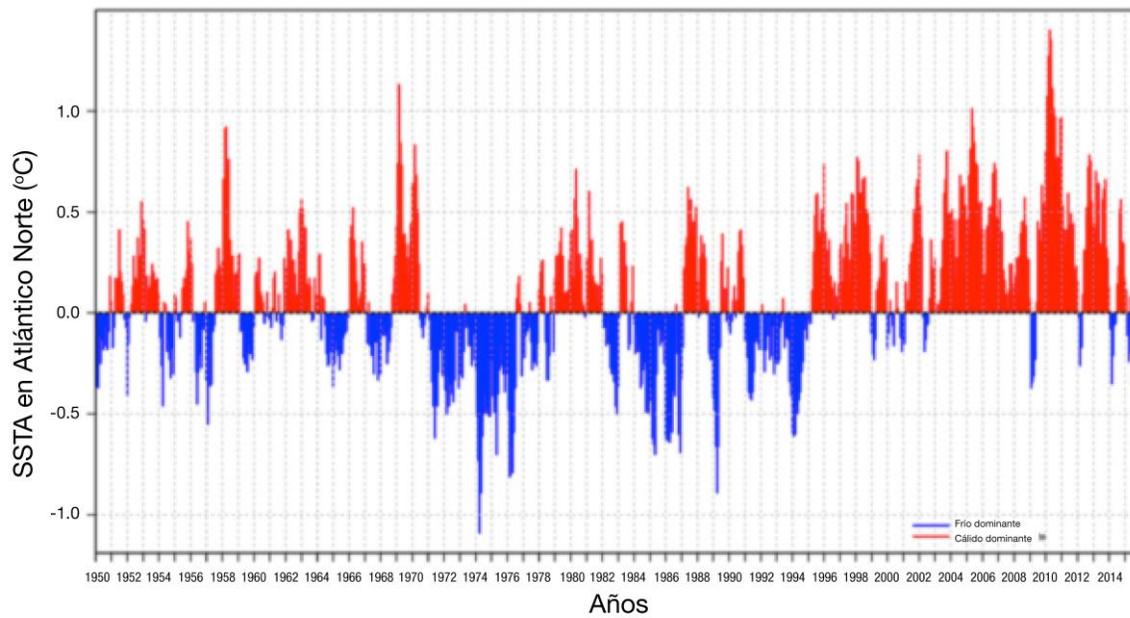


Figura I.3.7 SSTA promediada sobre la región oceánica Atlántico Norte (0.5-23.5  N y 15-57.5  O) desde enero 1950 hasta mayo 2015. La anomalía está referida al periodo 1971-2000. Figura recuperada de <http://www.esrl.noaa.gov/psd>.

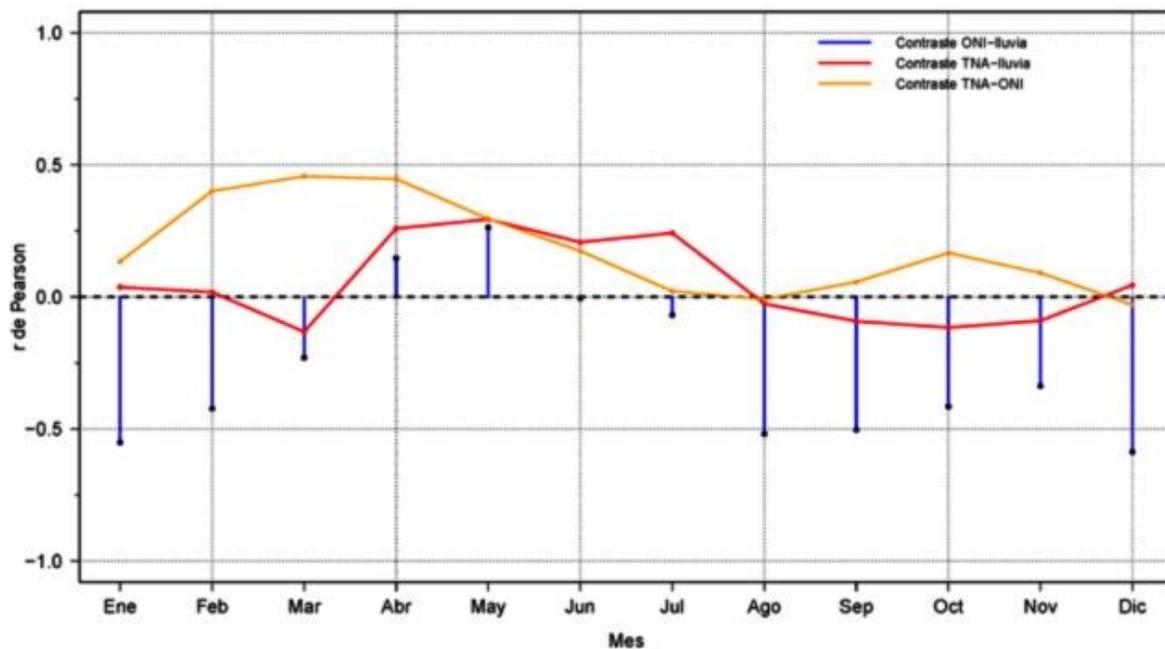


Figura I.3.8 Para el periodo 1950-2013 se muestra el valor del coeficiente de correlación lineal de Pearson que resulta al contrastar las variables mostradas en las: i) Figs. I.3.4 y I.3.5 (barras de color azul); ii) Figs. I.3.4 y I.3.6 (línea de color rojo); y iii) Figs. I.3.5 y I.3.6 (línea de color naranja). El valor indicado para enero se deriva del contraste de los registros pareados para dicho mes desde 1950 a 2013; igual se procedió con los meses restantes. Figura elaborada por el autor para este reporte a partir de las figuras I.3.5 a I.3.7.

I.3.3 Conclusiones

- o Al presente, la evidencia observacional (basada en mediciones) y las estimaciones indirectas (percepción remota), sugieren que la interacción de los océanos Atlántico y Pacifico con las celdas

de circulación de gran escala Hadley y Walker juega un importante rol como controlador de la variabilidad pluviométrica en el territorio venezolano, pues las variaciones anómalas en el intercambio de calor entre las aguas superficiales oceánicas y la baja tropósfera en este dominio espacial pueden inducir condiciones climáticas severas en dicho territorio, en particular, sequías de gran escala.

Referencias

- An, S. I. & Wang, B. (2000). Interdecadal Change of the Structure of the ENSO Mode and Its Impact on the ENSO Frequency. *Journal of Climate*, 13(12): 2044-2055.
- Andreoli, R. V. & Kayano, M. T. (2005). ENSO-related rainfall anomalies in South America and associated circulation features during warm and cold Pacific decadal oscillation regimes. *International Journal of Climatology*, 25(15): 2017-2030.
- Chambers, F. M., Mauquoy, D., Brain, S. A., Blaauw, M. & Daniell, J. R. (2007). Globally synchronous climate change 2800 years ago: proxy data from peat in South America. *Earth and Planetary Science Letters*, 253(3): 439-444.
- Dai, A. (2013). Increasing drought under global warming in observations and models. *Nature Climate Change*, 3(1): 52-58.
- De Souza, E. B., Kayano, M. T., Tota, J., Pezzi, L., Fisch, G. & Nobre, C. (2000). On the influences of the El Niño, La Niña and Atlantic dipole pattern on the Amazonian rainfall during 1960-1998. *Acta Amazonica*, 30(2): 305-318.
- Diaz, H. F., Hoerling, M. P. & Eischeid, J. K. (2001). ENSO variability, teleconnections and climate change. *International Journal of Climatology*, 21(15): 1845-1862.
- England, M. H., McGregor, S., Spence, P., Meehl, G. A., Timmermann, A., Cai, W., ... & Santoso, A. (2014). Recent intensification of wind-driven circulation in the Pacific and the ongoing warming hiatus. *Nature Climate Change*, 4(3): 222-227.
- Falvey, M. & Garreaud, R. D. (2009). Regional cooling in a warming world: Recent temperature trends in the southeast Pacific and along the west coast of subtropical South America (1979–2006). *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* (1984–2012): 114(D4).
- Gabaldon, A. J. (2008). El cambio climático y sus posibles efectos sobre Venezuela. *Humania del Sur*, (4): 13-32.
- Gan, M. A., Kousky, V. E. & Ropelewski, C. F. (2004). The South America monsoon circulation and its relationship to rainfall over west-central Brazil. *Journal of Climate*, 17(1): 47-66.
- Geber, B. D. A., de Aragão, J. O., de Melo, J. S., da Silva, A. P., Giongo, P. R. & Lacerda, F. F. (2009). Relação entre a precipitação do leste do Nordeste do Brasil e a temperatura dos oceanos. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, 13(4): 462-469.
- Giannini, A., Kushnir, Y. & Cane, M. A. (2000). Interannual variability of Caribbean rainfall, ENSO, and the Atlantic Ocean. *Journal of Climate*, 13(2): 297-311.
- Grimm, A. M. & Tedeschi, R. G. (2009). ENSO and extreme rainfall events in South America. *Journal of Climate*, 22(7): 1589-1609.
- Grimm, A. M. & Zilli, M. T. (2009). Interannual variability and seasonal evolution of summer monsoon rainfall in South America. *Journal of Climate*, 22(9): 2257-2275.
- Grimm, A. M., Barros, V. R. & Doyle, M. E. (2000). Climate variability in southern South America associated with El Niño and La Niña events. *Journal of climate*, 13(1): 35-58.
- Kirtman, B. P. (1997). Oceanic Rossby wave dynamics and the ENSO period in a coupled model. *Journal of climate*, 10(7): 1690-1704.
- Mann, M. E. & Jones, P. D. (2003). Global surface temperatures over the past two millennia. *Geophysical Research Letters*: 30(15).
- Marshall, J., Kushnir, Y., Battisti, D., Chang, P., Czaja, A., Dickson, R. & Visbeck, M. (2001). North Atlantic climate variability: phenomena, impacts and mechanisms. *International Journal of Climatology*, 21(15): 1863-1898.
- Martelo, M. T. (2003). *La precipitación en Venezuela y su relación con el Sistema Climático. Venezuela: Dirección de Hidrología, Meteorología y Oceanología*, Dirección General de Cuencas Hidrográficas del Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales. Recuperado de: http://190.9.130.79/documentos/precipitacion_venezuela_relacion_sistema%20climatico.pdf
- Meehl, G. A., Covey, C., Taylor, K. E., Delworth, T., Stouffer, R. J., Latif, M., ... & Mitchell, J. F. (2007). The WCRP CMIP3 multimodel dataset: A new era in climate change research. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 88(9): 1383-1394.

- Mendoza, N. & Puche, M. (2014). Evaluación de la ocurrencia de sequía en localidades de Venezuela. *Revista de la Facultad de Agronomía de LUZ*: 24(4).
- Newman, M., Compo, G. P. & Alexander, M. A. (2003). ENSO-forced variability of the Pacific decadal oscillation. *Journal of Climate*, 16(23): 3853-3857.
- Nobre, P. & Shukla, J. (1996). Variations of sea surface temperature, wind stress, and rainfall over the tropical Atlantic and South America. *Journal of Climate*, 9(10): 2464-2479.
- Paredes, F., Millano, J. & Guevara, E. (2008). Análisis espacial de las sequías meteorológicas en la región de Los Llanos de Venezuela durante el período 1961-1996. *Revista de Climatología*, 8: 15-27.
- Pezzi, L. P. & Cavalcanti, I. F. A. (2001). The relative importance of ENSO and tropical Atlantic sea surface temperature anomalies for seasonal precipitation over South America: a numerical study. *Climate Dynamics*, 17(2-3): 205-212.
- Poveda, G., Waylen, P. R. & Pulwarty, R. S. (2006). Annual and inter-annual variability of the present climate in northern South America and southern Mesoamerica. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 234(1): 3-27.
- Prado, L. F. & Wainer, I. (2013). Planetary-scale climatic indices and relationship between decadal variability of rainfall in northeastern and southern Brazil. *Revista Brasileira de Geofísica*, 31(1): 31-41.
- Quiroz, I., Paredes, F. & Guevara E. (2016). Incidencia de las sequías sobre las cuencas aportantes a los grandes embalses en Venezuela. *Agora de Heterodoxias*, 2(31): 65-89.
- Ramírez, J. G. M. (2007). *Estudo de sistemas convectivos na Venezuela por meio de sensoriamento remoto com satélite* (dissertation). Universidade de São Paulo. 90 pp.
- Rojas, M. & Alfaro, E. (2000). Influencia del oce no Atlántico tropical sobre el comportamiento de la primera parte de la estación lluviosa en Venezuela. *Top. Meteor. Oceanog*, 7(2): 88-92.
- Schoennagel, T., Veblen, T. T., Romme, W. H., Sibold, J. S. & Cook, E. R. (2005). ENSO and PDO variability affect drought-induced fire occurrence in Rocky Mountain subalpine forests. *Ecological Applications*, 15(6): 2000-2014.
- Seager, R., Harnik, N., Robinson, W. A., Kushnir, Y., Ting, M., Huang, H. P. & Velez, J. (2005). Mechanisms of ENSO-forcing of hemispherically symmetric precipitation variability. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 131(608): 1501-1527.
- Seltzer, G. O., Rodbell, D. T., Baker, P. A., Fritz, S. C., Tapia, P. M., Rowe, H. D. & Dunbar, R. B. (2002). Early warming of tropical South America at the last glacial-interglacial transition. *Science*, 296(5573): 1685-1686.
- Tim, N. & de Guenni, L. B. (2015). Oceanic influence on the precipitation in Venezuela under current and future climate. *Climate Dynamics*: 1-24.
- Wang, C. (2004). ENSO, Atlantic climate variability, and the Walker and Hadley circulations. En: *The Hadley circulation: Present, past and future* (pp. 173-202). Springer, Netherlands.

I.4 ECOSISTEMAS TERRESTRES Y BIODIVERSIDAD

Coordinadores

Alejandra Leal, Jorge Paolini-Ruiz

Autores líderes

Ingrid Acevedo, Bibiana Bilbao, Maribel Colmenares-Arteaga, Jorge Contreras, †Manuel Henríquez, Wilmer Hernández, Betty Mendoza, José Pastor Mogollón, Julián Mostacero, Shingo Nozawa, Erika Pedraza, Gabriel Picón, Wilder Rivas, Roberto Rivera-Lombardi, María Rondón, Dirk Thielen, Duilio Torres

Autores contribuyentes

Fernando Sánchez Orellana, Eduardo Zambrano

Palabras clave: Gran Sabana, Península de Paraguaná, Guayana, sumidero de carbono, biodiversidad, América del Sur, Venezuela.

Este capítulo lo dedicamos al Dr Manuel Henríquez, profesor de la UCLA, por su trayectoria en la formación de nuevos investigadores, su lucha constante por el quehacer científico y porque gracias a su contribución fue posible levantar gran parte de esta información, la cual ponemos a disposición de la comunidad nacional como un aporte para tratar de minimizar el impacto del cambio climático en el país. Paz a su alma.



Figura I.4.1 Bosque lluvioso tropical Edo Yzacuy 2010. Fotografía Alicia Villamizar.

Acrónimos

ABRAE	Áreas bajo régimen de administración especial
AP	Antes del presente
C	Carbono
CO	Carbono orgánico
CO ₂	Dióxido de carbono
CO ₂ e	Emisiones equivalentes en CO ₂
COS	Carbono Orgánico del Suelo
EII	Environmental Impact Index
ENSO	El Niño Oscilación del Sur
ET	Ecosistemas Terrestres
FAO	Food and Agriculture Organization
FRA	Forest Resource Assessment
GEI	Gases de efecto invernadero
Gt	Giga toneladas
ha	Hectáreas
HWSD	Harminized World Soil Database
IPCC	Panel Intergubernamental para Cambio Climático, por sus siglas en inglés
IRA	Incremento Relativo Anual
MOS	Materia Orgánica del Suelo
OMB-GFW	Observatorio Mundial de Bosques-Global Forest Watch
OSL	Optically Stimulated Luminiscense
Pg	Peta gramos
PPN	Productividad Primaria Neta
RE	Respiración Edáfica
SIG	Sistema de Información Geográfica
tn	Toneladas
WRI	World Resources Institute
ZCIT	Zona de Convergencia Intertropical

I.4.1 Introducción

Los ecosistemas terrestres (ET) poseen una gran importancia en términos del ciclo global del carbono, acumulando a nivel global 385-650 Pg C en la biósfera terrestre (1 Pg equivale a 10^{15} g) y contribuyendo con algunos de los flujos más dinámicos de intercambio de CO_2 con la atmósfera (Houghton *et al.*, 2009). Esto a través de los procesos de productividad primaria y respiración. Así mismo son importantes las emisiones de compuestos orgánicos volátiles y metano, y aquellas emisiones de carbón negro, monóxido y dióxido de carbono, y compuestos de nitrógeno y azufre, producto de la actividad del fuego (IPCC, 2012).

Las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) por causa antrópica directa o indirecta, que provienen de los procesos de deforestación y cambio de uso de la tierra, representan hoy en día un cuarto de las emisiones globales (Baccini *et al.*, 2012), y se estima que en términos históricos estas han representado la mitad de los GEI que se han emitido a la atmósfera por causas antrópicas (IPCC, 2001, 2007). Esto le confiere a los ET un papel protagónico en términos del cambio climático.

En los países desarrollados las políticas de mitigación de las emisiones continentales de GEI han incluido planes de reforestación y aforestación y nuevas tecnologías de manejo del suelo para reducir las emisiones desde los ET. Sin embargo, en los trópicos se mantienen altas tasas de deforestación y transformación de la vegetación y de los suelos, que conllevan a una emisión neta a nivel global entre 1 y 2 Pg C año⁻¹ (Houghton *et al.*, 2012; Baccini *et al.*, 2012).

El Neotrópico posee la tasa de deforestación más alta del globo (Pan *et al.*, 2011; Baccini *et al.*, 2012; De Sy *et al.*, 2015; Román-Cuesta *et al.*, 2016). Si bien los procesos de cambio del paisaje en América Tropical están ocurriendo a gran escala principalmente en la Cuenca Amazónica *sensu stricto* (específicamente en la región central de Brasil), Venezuela es un país de vital importancia, por ser uno de los países neotropicales con mayor proporción de bosques en relación a su territorio. Actualmente los estimados indican que entre el 50% y el 55% del territorio venezolano está ocupado por bosques (Bevilacqua *et al.*, 2002; FRA, 2010; Pacheco *et al.*, 2011a; FRA, 2015), el 90% de ellos aún con grados de intervención humana medios a bajos (Oliveira-Miranda *et al.*, 2010; Pacheco *et al.*, 2014).

Venezuela posee una gran diversidad de ecosistemas que son importantes en términos del ciclo regional y global del carbono, como la gran proporción de sabanas en la región de los Llanos del Orinoco que ocupan aproximadamente un cuarto de la superficie del país (Duno *et al.*, 2006). Allí también se concentra una buena parte de las actividades agropecuarias. Estas sabanas contienen una diversidad de comunidades, que van desde los bosques deciduos y semideciduos del norte de la región llanera y el piedemonte andino, hasta las sabanas inundables de los llanos bajos del estado Apure,

pasando por las sabanas bien drenadas arboladas presentes principalmente en los estados Cojedes, Guárico, Anzoátegui y Monagas. Los Llanos del Orinoco contienen también una extensa red de bosques de galería, de sistemas de bosquetes o matas, y de humedales con y sin palmas, que le otorgan una gran complejidad al paisaje. En este complejo de ecosistemas, el fuego se presenta con frecuencia contribuyendo con las emisiones regionales de GEI. Adicionalmente, la frontera agrícola y pecuaria se expande sostenidamente.

Venezuela también posee una orografía accidentada, sobre todo en la región costera y occidente del país, y en la Guayana venezolana^{I.4.1}. Existen por lo tanto importantes gradientes ambientales relacionados con los accidentes orográficos que le otorgan variabilidad a los patrones espaciales de la precipitación y las temperaturas. Así, Venezuela posee zonas semiáridas en la región costera, en algunos casos como efecto de la sombra de lluvia de las cordilleras, bosques montanos en los *piédemontes* y laderas de las montañas, selvas nubladas, y subpáramos y páramos donde la altura los favorece.

Es importante conocer el papel que cumple esta diversidad de ecosistemas en el ciclo del carbono a nivel nacional, regional y global. Para ello se requiere en primer lugar conocer la extensión de cada sistema con la mayor exactitud posible y conocer los inventarios de carbono asociados con estos sistemas. Los inventarios incluyen: la biomasa viva y muerta, aérea y subterránea, especialmente de la vegetación que es el compartimiento más dinámico dentro de los sistemas continentales; las formas y cantidades de compuestos de carbono en el suelo, siendo el carbono orgánico del suelo (COS) el más importante. En segundo lugar, se deben conocer los flujos de intercambio con la atmósfera, considerando que los más cuantiosos son la productividad primaria y la respiración (incluyendo las pérdidas por descomposición de la biomasa y la descomposición del COS). Otros flujos importantes provienen de la actividad del fuego, de la transformación de un tipo de vegetación en otro, o de la expansión de las fronteras agropecuaria y/o urbana.

Por otro lado, también interesa conocer los impactos del cambio climático sobre la dinámica de los ET y su biodiversidad. Para ello se requiere en primer término conocer los patrones de diversidad que existen en un momento dado, la presencia y extensión de especies invasoras, y realizar un seguimiento que permita identificar posibles cambios. Identificar aspectos de la vulnerabilidad de los ET permite a su vez modelar cambios potenciales ante los escenarios futuros del cambio climático.

^{I.4.1} Las Tierras Altas de Guayana se encuentran en Venezuela al este del Orinoco y se extienden a lo largo de gran parte del centro-oeste de Guyana y hacia el norte del estado de Roraima en Brasil y también en territorio de Suriname.

En los próximos apartados se abordará el estado del conocimiento sobre la superficie que ocupan los ET en Venezuela y los procesos de transformación a los que están sometidos. Se analizará también la información disponible sobre inventarios de carbono y flujos asociados. Todo esto como base para el estudio de los impactos del cambio climático en los ET venezolanos. Las regiones de Venezuela tratadas en este apartado son: la Guayana venezolana, los Llanos del Orinoco, La Cordillera de la Costa, y los sistemas semiáridos y áridos de los estados Lara y Falcón. La descripción fisiográfica, de la vegetación y de aspectos demográficos en cada región, será tratada brevemente a fines de brindar el contexto que permita una mejor comprensión.

I.4.2 La Guayana Venezolana

I.4.2.1 Ubicación y características generales

La Guayana es una región biogeográfica que abarca el Sur de Venezuela ([Figura I.4.2](#)). Esta región está integrada políticamente por tres estados para algunos autores y por dos para otros. Los estados Amazonas, Bolívar y Delta Amacuro fueron considerados por la “Flora de la Región Guayana” (Steyermark *et al.* 1995), como el lienzo geográfico para las casi diez mil especies que reporta esta monumental flora. Esto a pesar de la marcada diferenciación biofísica del Delta Amacuro con los otros dos estados guayaneses. Así mismo, para el Proyecto “Inventario de los Recursos Naturales de Guayana”, como lo documentan detalladamente Alfred Zinck y Pedro García, fue incluido el Delta Amacuro como parte de la Región Guayana ([Figura I.4.3](#)), brindando un análisis integral y multidisciplinario que generó mapas a escala 1:250.000 y mapas síntesis a 1:500.000 (CVG-TECMIN 1987-1991).

La Guayana es un espacio geográfico que se define distinto según cada punto de vista y enfoques. Representa para Venezuela la mitad de su territorio y connota una importancia y riqueza que ha despertado gran interés en su historia reciente. La [tabla I.4.1](#) muestra las distintas dimensiones de la región. Al detenerse en un análisis de la superficie que tiene la cuenca amazónica, como cuenca internacional, con 7.350.621 km² y el Escudo de Guayana con 1.010.000 km², resalta que este último representa un 13,74% de la cuenca amazónica ([Tabla I.4.1](#)). De este análisis también se desprende que parte de la Guayana venezolana está fuera del Escudo Guayanés ([Figura I.4.2](#)), específicamente el área comprendida por el Delta del Orinoco y el norte del estado Bolívar. Sin embargo, es importante resaltar el concepto biorregional que otorga la gran masa de ecosistemas boscosos que se extiende hacia los bordes nororientales del Escudo Guayanés y que brindan beneficios globales al planeta como una unidad. De modo que una visión ecorregional como pulmón del planeta, resguardo de más de la mitad de la biodiversidad, dan congruencia a la visión de integrar a la Región Guayana venezolana como parte de la Amazonía.

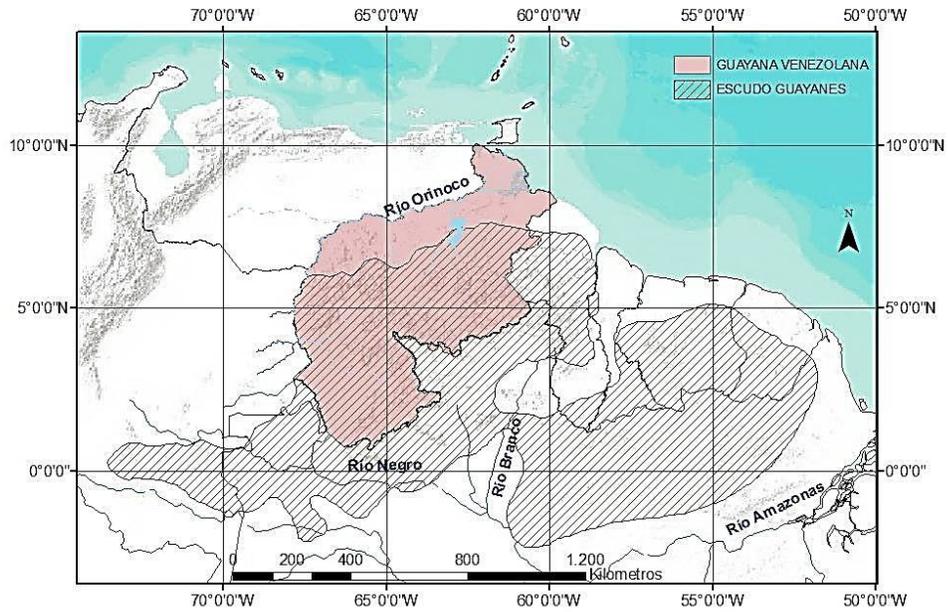


Figura I.4.2 Mapa del Escudo de Guayana y de la Región Guayana de Venezuela. Figura F. Sánchez, adaptada de Huber, 1995.



Figura I.4.3 Mapa de Venezuela indicando los tres estados guayaneses: Amazonas, Bolívar y Delta Amacuro. Figura F. Sánchez.

Tabla I.4.1 La Guayana venezolana según conceptualización hidrográfica, política, regional y biorregional.

Conceptualizada como...	Unidad	Superficie km ²	Aspectos relevantes
Región Guayana	Estados Amazonas, Bolívar y Delta Amacuro	458.345 (1)	Historia común. Geología precámbrica. Suelos muy pobres. Ríos de aguas negras.
Región ecológica-biológica en América del Sur	Escudo de Guayana	1.010.000 (1)	Historia geológica única, integrada por el Sur de la Orinoquia y el Norte de la Amazonía
Región hidrográfica	Cuenca Amazonas venezolana (Alto Río Negro).	58.069,91 (2)	Importantes resultados de investigaciones científicas logrados en San Carlos de Río Negro (IVIC). Naturalistas y exploradores en el siglo XVIII. Conexión de la cuenca Orinoco al Amazonas por el Brazo Casiquiare.
División político territorial	Estado Amazonas (desde 1992)	177.617 (2)	El estado con menor densidad poblacional 0,8 hab/km ² (1), mayor diversidad étnica (Cuadro 1.2 y capítulo 2 de este informe). Estado donde nace el río Orinoco.
Amazonas Cuenca internacional	Brasil Perú Bolivia Ecuador Colombia, Venezuela y Guyana (3)	7.350.621 (3) (Se encuentran cifras entre 6.2 – 7.05)	A pesar de la pequeña superficie relativa de la cuenca del Amazonas en Venezuela 58.069,91 km ² , 079%, (3), es donde se presenta el mayor vaso comunicante entre cuencas del mundo, el Casiquiare aporta un porcentaje significativo en aguas altas, hasta 30% del caudal (4).

Fuente: adaptada de (1) de Huber 1995, (2) INE Amazonas 2014, (3) Medina y Carrillo s/f, (4) Milla M. 2009.

Como se ha reseñado, la Región Guayana venezolana comprende tres estados, abarcando una superficie de 458.345 km² (Figura I.4.3), según las cifras oficiales del Instituto Nacional de Estadística (INE, 2011). Esta superficie es un poco mayor que la reportada por la OCEI en 1993 de 453.950 km² (Huber 1995a y b). El estado Amazonas es el estado con la más baja densidad poblacional del país, con 0,8% de la población nacional, según el censo del año 2011 (INE, 2011). La población en este estado está concentrada en el norte. No hay datos en el censo oficial de población discriminada por pueblo indígena. Sin embargo, un trabajo de Huber y Zent (1995), discrimina para toda la Región Guayana los grupos étnicos para los censos de 1982 y 1992. Con base en los 7 grupos indígenas más numerosos de los 25 grupos presentes, el trabajo presenta las siguientes cifras para cada censo: Guajibo 6.400, 10.882; Panare 2.400, 3.133; Pemón 11.462, 19.129; Piaroa 7.031, 11.536; Warao 17.654, 21.014; Yanomami (incluidos Sanema): 12.081, 15.012 y Yekuana 3.033, 4.461. El total es de 60.061 para el censo de 1982 y 85.167 para el censo de 1992. Estas cifras dan cuenta de un incremento del 42% entre los dos censos citados. En el caso del estado Bolívar la población se concentra también en el norte, en el eje Ciudad Guayana-Ciudad Bolívar con más del 80% de la población del estado. De modo que la densidad poblacional del resto del territorio se asemeja a la de Amazonas. Así mismo, es de hacer notar que el estado Delta Amacuro concentra la población indígena del pueblo Warao, que se encuentra dispersa a lo largo de los caños del intrincado sistema deltaico del Orinoco, con concentraciones de población en su capital Tucupita.

La hidrografía en la Región Guayana está delimitada por la margen derecha del Río Orinoco (Figura I.4.4). Las cuencas tributarias más importantes incluyen 24 ríos que configuran la intrincada red

hidrográfica de la cuenca en territorio venezolano (Tabla I.4.2). El Río Orinoco con 2.150 km de largo ocupa en la región Guayana 360.000 km² de los 1.080.000 km² que comparte con Colombia y con el drenaje de Los Andes y la Cordillera de la Costa venezolana (Huber, 1995a).

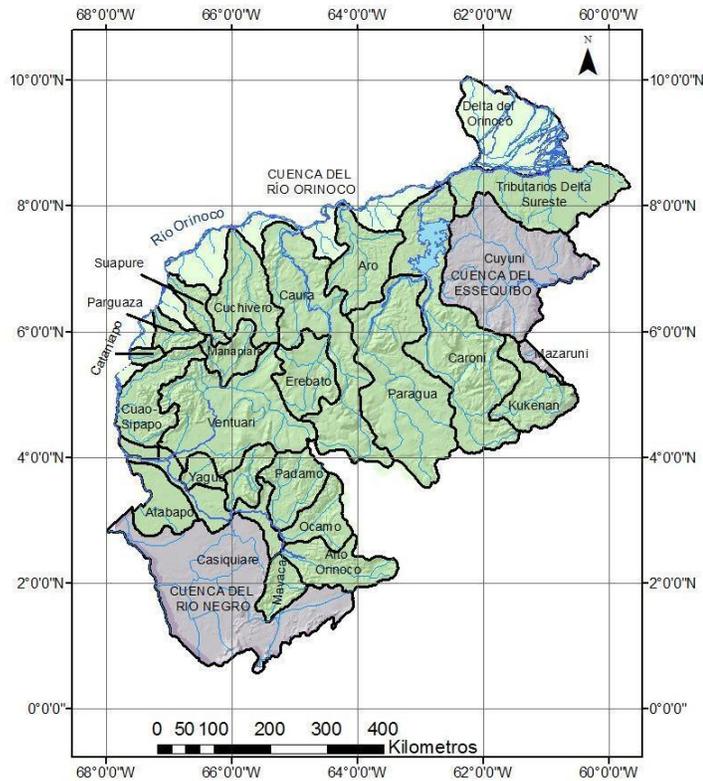


Figura I.4.4 Cuencas de ríos importantes de la Región Guayana venezolana. Figura F. Sánchez, adaptada de Huber, 1995a.

La geología y el clima de la Guayana venezolana ha sido tratada en varios productos publicados, constituyendo la *Flora of the Venezuelan Guayana* (FVG), volumen 1, uno de los compendios más importantes (Steyermark *et al.*, 1995). En términos generales, el sur del Orinoco comprende la región más lluviosa y menos estacional del país, aunque las lluvias presentan una gran variabilidad dependiendo de los gradientes altitudinales y la presencia de accidentes orográficos. Su gran extensión conlleva también una gran complejidad de relieves y paisajes, y a una variada gama de litologías, que producen una gama igualmente variada de suelos, aunque en términos generales los suelos guyaneses son los más pobres y ácidos del país (y del mundo). Aun cuando para 1995, según Huber (1995b), no era posible hacer una detallada clasificación de los tipos de vegetación por la desigual exploración de las extensas áreas boscosas, para la FVG se presentó un esquema general. Los tipos de vegetación con base en las características más distintivas pueden pertenecer a alguno de los siguientes tipos de formaciones vegetales: 1. Formación boscosa, 2. Formación arbustiva, 3. Formación herbácea y 4. Formación pionera (principalmente saxícola). Las formaciones boscosas incluyen 54 unidades. Los

1.4

criterios para distinguir estas unidades consideraron la altura principal del dosel arbóreo, la fenología, las condiciones de humedad del suelo, posiciones orográficas y la composición florística. En esta clasificación se discrimina a los bosques según se señala en la [tabla I.4.3](#).

Siguiendo la clasificación de tipos de vegetación, donde la altura y fisionomía producen adaptaciones a los caracteres físicos determinantes (geología, suelos muy peculiares que no se encuentran en otras partes del país), las formaciones arbustivas en la Guayana venezolana son mucho más biodiversas de lo que había sido registrado por los primeros científicos (además es posible que existan más tipos que los aquí indicados), distinguiéndose los siguientes tipos resumidos en la [tabla I.4.4](#).

En cuanto a las formaciones herbáceas para la Región Guayana, Huber (1995b) describe una clasificación basada en la dominancia de especies de gramíneas y ciperáceas, que denomina herbazal graminoso y otro grupo dominado por especies completamente distintas que denomina herbazal no-graminoso. El herbazal graminoso a su vez lo subdivide en dos grupos distinguidos por los procesos fotosintéticos C3 o C4, distinguiendo las sabanas dominadas por gramíneas y con fotosíntesis C4 (restringidas a las tierras bajas tropicales de bioclima macrotérmico) del segundo tipo, que incluye a los herbazales graminosos de zonas montañas dominadas por especies con fotosíntesis C3 y que se encuentran en bioclimas mesotérmicos a microtérmicos. El herbazal no-graminoso le confiere a la Región Guayana una característica de unicidad. Huber clasifica 4 tipos que difieren en su composición florística y estructura fisionómica: 1) herbazales de hoja ancha, 2) herbazales tubiformes, 3) herbazales arrocetados y 4) herbazales fruticosos. Estos se muestran en la [tabla I.4.5](#).

En cuanto a diversidad de flora y fauna, se muestran resultados relevantes resumidos en la [tabla I.4.6](#). Como se aprecia, las cifras de riqueza de especies constituyen uno de los avances mejor documentados.

Sin embargo, aún existen enormes vacíos de información respecto a la extensa Región Guayana. Aún mayores son los vacíos a nivel de dinámica o diversidad funcional de los ecosistemas y de estudios de diversidad genética.

Tabla I.4.2 Red hidrográfica de la Región Guayana: ríos más importantes.

Río	Estado	Área Cuenca km ²	Longitud Km	Tipo Ecológico de Aguas	Notas relevantes
Siapa	A	21.040	360		Tributarios del río Amazonas. 12% de la Guayana Venezolana 53.280 km ²
Pasimoni	A	9.920	170	Negras	
Río Negro	A	1760	90	Negras	
Casiquire	A	13.200	300	Blancas y Negras	
Guainía	A	7.360	160	Negras	
Alto Orinoco	A				Ríos Mavaca, Ocamo y Padamo.
Mavaca	A	5.560	120	Blancas	
Ocamo	A	8.560	200		
Padamo	A	10.280	160	Claras	
Cunucunuma	A	5.760		Negras	Culebra es un poblado Yekwana
Caño Yagua	A	3.320	100		Laguna Yapacana
Atabapo	A	9.760	120	Negras	Tributario que nace en Colombia: río Guasacavi
Ventuari	A	41.760	440	Claras	Muchos tributarios de aguas negras
Cuaó – Sipapo	A	13.760	200	Claras Negras	El Cuaó es de aguas claras.
Cataniapo	A	1.750	108	Claras	Parte baja muy afectada por agricultura.
Erebato	B				
Manapiare	B				
Parguaza	B	3.920	140	Claras	
Cuchivero - Guainiamo	B	15.000	290	Originalmente Aguas claras	El río Guainiamo drena paralelo y es parte de la cuenca del Cuchivero. Intensa minería ha producido altas cargas de sedimentos.
Suapure	B	4.720	180	Claras	La parte baja se ha visto afectada por los sedimentos de la mina de Bauxita de los Pijiguaos, ubicada 30 km aguas arriba del Orinoco.
Caura	B	47.000	680	Negras	Para el año 1995 se reportaba como la cuenca menos perturbada de la Guayana Venezolana.
Aro	B	14.120	220	Claras	
Caroní – Paragua	B	95.000			Desarrollo hidroeléctrico en el Bajo Caroní: Guri, Macagua, Caruachi y en construcción Tocoma.
Caroní	B	55.680	760	Negras	Cuenca con importante número de estudios debido a la importancia de generación hidroeléctrica.
Paragua	B	39.320	540	Negras	Debido a su densa cobertura boscosa los caudales de aporte a Guri son significativos.
Cuyuni	B	40.000	+400	Claras predominante	Tributario del río Esquibo
Kamoyran (Kamuran)	B	2.000		Negras	Tributario del río Mazaruni, nace en el noreste de la Gran Sabana.
Numerosa red de caños y ríos	DA	43.600	+150	Claras	Incluyen Río Grande, Caños Araguao, Araguabisi, Macareo, Manamo, Ríos Barima, Imataca y muchos otros.

Fuente: adaptada de Huber, 1995.

Tabla I.4.3 Formaciones boscosas que incluyen 54 tipos de bosques para la Guayana venezolana.

Formaciones	Elevación m	Descripción general	Unidades en Mapa de la Flora of the Venezuelan Guayana (FVG)
Bosques de tierras bajas	0 - 500	Bosques siempre verdes que cubren grandes extensiones del Delta del Orinoco, la cuenca del Caura, peniplanicies del Ventuari y Casiquiare. Incluye bosques costeros y estuarinos del Delta del Orinoco, bosques esclerófilos de Río Negro. También bosques deciduos y semideciduos de las áreas más secas del norte este de la Guayana Venezolana.	1 a 18 (18 Unidades). Ejemplos: Bosques de tierras bajas del Cuyuní y Caroní (unidad 6). Bosques de las peniplanicies del Caura Paragua (Unidad 11).
Bosques Montanos	500 – 3.000	Incluye los bosques de altiplanicies y de tierras altas y sigue una secuencia general desde los bosques basimontanos, los montanos bajos, montanos, montanos altos y los bosques de las zonas de vida de los tepuyes altos.	19 a 54 (36 Unidades). Ejemplos: Bosques de las tierras altas de la Gran Sabana y tepuyes adyacentes (Unidad 20). Bosques de la Sierra de Maigualida (Unidad 31)

Fuente: adaptada de Huber, 1995.

Tabla I.4.4 Formaciones arbustivas que incluyen 14 tipos de arbustales para la Guayana venezolana.

Formaciones	Elevación m	Descripción general	Unidades en Mapa de la Flora of the Venezuelan Guayana (FVG)
Arbustales en el estado Amazonas	1.600–2.000	Arbustales de los tepuis del Norte del Amazonas. Arbustales muy característicos que crecen sobre rocas en el Macizo de Yutajé-Coro Coro y Cerro Guanay. También en las cimas del Macizo Cuao-Sipapo se encuentran arbustales similares pero distinta composición florística.	1 Unidad: 62. En Cerro Guanay domina <i>Bonnetia crassa</i> . Mientras que en Yutaje-Coro Coro se encuentra <i>Gongylolepis jauaensis</i> .
	50-200	Arbustales de las tierras bajas del Sipapo, Atabapo y Guainía. Localmente llamados bana. Comunidades llamadas boyal.	3 Unidades: 64-66. 64: En sitios parecidos s dunas de arenas blancas. 65: Producto de extrema deficiencia de nutrientes 66: Arbustales riparios.
	800 – 1.500 1.500-2.200 1.600-2.500	Arbustales de Altiplanicies y Tierras Altas de tepuyes del Centro y Sur. Caracterizadas por distintas especies y composiciones florísticas.	3 Unidades: 67 Cerro Parú 68 Cerro Duida y Huachamacari. 69 Macizo Sierra de la Neblina
Arbustales en el estado Bolívar	400 – 1.500	Arbustales de la Cuenca del Río Caroní-Paragua	4 Unidades: 55 a 58. Ejemplos. Arbustales que rodean la base del Auyantepuy y Guaiquinima (Unidad 55). Arbustales de la cima de la Serranía de Marutaní (Unidad 58)
	1.300-2.400	Arbustales en la Cuenca del Río Caura. Diferenciados por la altura y especies dominantes. Los arbustales del Cerro Jaua, son considerados como verdaderos arbustales del Pantepui (1800 - 2400 m).	60 y 61 (2 Unidades). Ejemplos: Extensos y densos, arbustales del Cerro Sarisariñama (Unidad 60). Arbustales de la cima del Sur del Cerro Jaua (Unidad 61)
	400-800	Arbustales de los Piédemontes del Noroeste. Parte baja y media de los Ríos Suapure y Parguaza y estos arbustales crecen sobre substratos de plintita y bauxita.	1 Unidad: 63.

Fuente: adaptada de Huber, 1995.

Tabla I.4.5 Formaciones herbáceas que incluyen 17 tipos de herbazales para la Guayana venezolana.

Formación	Elevación m.	Descripción general	Unidades en Mapa de la Flora of the Venezuelan Guayana (FVG)
Herbazales en el estado Amazonas	-	Herbazales gramíneos: Sabanas de tierras bajas del Estado Amazonas: - Al norte y sur de Puerto Ayacucho. - En el alto Río Ventuari y alrededor de la Esmeralda. - Amplias extensiones del Río Manapiare.	2 Unidades: 77. Sabana con arbustos y árboles. 78. Sabanas inundadas sin árboles.
	300 – 800 (1000)	Sabanas de altiplanicies de Macizo de Guanay-Cuaó. Entre los <i>piédemontes</i> del Cerro Guanay y las colinas de Cuaó. La composición de la capa arbustiva es muy peculiar con especies como <i>Vellozia tubiflora</i> y otras únicas de estos substratos rocosos derivados de cuarcita.	1 Unidad: 82. Peculiar sabana arbustiva (Arbustal).
Herbazales en el estado Bolívar	300 – 600	Herbazales gramíneos: Sabanas de tierras bajas del Noreste del estado, se dividen en los siguientes tipos: - Desde Tumeremo hasta el bajo río Caura. - Entre El Dorado y parte baja del Río Paragua. - A lo largo del medio Río Caroní - Alrededores de Cerro Guaiquinima	4 Unidades: 71. Sabana arbustiva y chaparrales. 72. Sabana abierta sin árboles. 73. Sabana abierta, densa sin árboles. 74. Sabana con árboles que crece en pequeños parches.
		Sabanas de tierras bajas del noroeste del Estado Bolívar. Cinturón entre bajo Río El Caura y Río Maniapure. Planicies aluviales que bordean el Orinoco.	2 Unidades: 75. Sabana abierta con arbustos de <i>Caraipa llanorum</i> y palma de <i>Attalea</i> . 76. Sabana abierta con pequeñas especies de gramíneas.
	750- 1.300 750 – 1.000 800 – 1.100	Sabanas de altiplanicies del sureste del Estado Bolívar. La formación más común de la Gran Sabana, crece sobre suelos pobres cubiertos de concreciones ferruginosas (ripió). Morichales, sabanas inundables estacionalmente. Sabanas arbustivas que crecen en suelos extremadamente pobres, en colinas rocosas o en pendientes.	3 Unidades: 79. Sabana abierta sin árboles, o con algunos pequeños. 80. Sabanas con palma de moriche 81. Sabanas arbustivas.
Herbazales en el estado Delta Amacuro		Herbazales gramíneos: Sabanas de tierras bajas del Delta del Orinoco. En la parte superior y media.	1 Unidad: 70. Abundancia gramíneas resistentes a la inundación.
		Herbazales no gramíneos: Herbazal de hoja ancha de tierras bajas. Dominado por una densa comunidad de 1 a 2 m que crecen en suelos orgánicos permanentemente inundados. La segunda formación crece en áreas inundadas formando islas flotantes con dominancia de <i>Montrichardia arborescens</i> .	2 Unidades 85: en el medio Delta del Orinoco 86: en la parte baja del Delta.

Fuente: adaptada de Huber, 1995.

Cap. I.4 - Ecosistemas terrestres y biodiversidad

Tabla I.4.6 Biodiversidad reportada para la Región Guayana en estudios científicos.

Área	Grupo ó Proyecto	Resultados importantes	Riqueza de Especies (n)	Fuente
Región Guayana	Flora de la Guayana Venezolana	Tratamiento de especies conocidas de flora nativa y naturalizada. Base para evaluar patrones de biodiversidad en el continente	Pteridofitos: 671 Gymnospermas: 18 Angiospermas: 8722 Total 9411 especies	Berry <i>et al.</i> (1995c).
Región Guayana	Datos de Investigadores asociados en Proyecto Biodiversidad del Parque Nacional Canaima	Reporte de cifras de biodiversidad para la Región Guayana.	Amphibia: 186 Reptilia: 209 Mammalia: 251 Peces: 960	Señaris <i>et al.</i> (2009). Lew <i>et al.</i> (2009). Lasso <i>et al.</i> (2009).
Región Guayana	Proyectos de investigación donde Stefan Gorzula trabajó en diferentes instituciones durante 16 años.	Base de datos de 410 localidades con información taxonómica, notas de campo de 2.180 ejemplares.	Amphibia: 95 Reptilia: 129	Gorzula y Señaris, (1998).
Amazonas	Desarrollado con apoyo de PNUD y SADA Amazonas en marco del proyecto de Capacitación.	Conceptualización de biodiversidad. Caracterización. Población. Marco legal. Institucionalidad. Bases para manejo	Reporte de listas de especies de mayor uso (27). Incluidas en Libro Rojo de la UICN o en Apéndice CITES (33). Lista oficial de animales de caza (68). Especies de interés cinegético (70).	Esteves, J. y D. A. Dumith (1998).
Amazonas	Catálogo de la Flora de San Carlos de Río Negro.	Plantas recolectadas desde la visita a Humboldt y Bonpland en 1800 en los alrededores de unos 20 km ² .	Siguiendo el esquema de la FVG: Pteridofitos: 88 Gymnospermas: 4 Angiospermas: 1.376 Total 1839 especies	Clark <i>et al.</i> (2000).
Amazonas	Palmas (Arecaceae). Volumen 10 de Scientia Guaianae.	Diversidad, etnobotánica, sistemática, aprovechamiento y conservación.	21 géneros. Total: 60 Especies	Stauffer (2000).
Bolívar	Estudios del Grupo Dinámica Bosque Sabana (CVG-EDELCA – Universidad de Göttingen). 2 Volúmenes de Scientia Guaianae (4 y 9)	Procesos de degradación de bosques. Fragilidad. Caracterización de las altiplanicies de la Gran Sabana con fines de conservación. Estudios ecológicos, diversidad, estructura de bosques.	Dinámica ecosistémica. mayor representación del elemento florístico Amazónico. Índices de diversidad	Dezseo (1994). Hernández (1999).
Bolívar	Estudios de investigadores de (FLASA-IZT/UCV-EDELCA – CIEG/UNEG-GUYN – Museo de Historia Natural – Field Museum of Natural History). Volumen de Scientia Guaianae (12)	Caracterización general de la cuenca del Caura considerada como prístina para la fecha. Actualización de lista de especies de flora e ictiofauna. Estudios de uso y conservación.	Lista de 957 especies de plantas. Documentación de ecología, uso y manejo de peces y casos específicos (<i>Podocnemis unifilis</i> , especie vulnerable UICN; <i>Piaractus brachypomus</i>). Peces para el Caura y Paragua: 88	Vispo y Knab-Vispo (2003).
Bolívar	Biodiversidad del Parque Nacional Canaima. Trabajo de grupo de Fundación La Salle, UNEG y	Actualización de data sobre vegetación y fauna (vertebrados), Análisis geográfico. Análisis de conservación y manejo y recomendaciones para la planificación para la conservación de biodiversidad	Registro/actualización Amphibia: 95 Reptilia: 111 Aves: 587 Mammalia: 115 Peces: 119	Señaris <i>et al.</i> (2009). Molina y Salcedo (2009). Lew <i>et al.</i> (2009). Lasso, <i>et al.</i> (2009).
Bolívar	Estudios realizados en la Cuenca del Río Caura. Publicados en Scientia Guaianae: Volumen 6 (Rosales y Huber, 1996). Volumen 7 (Huber y Rosales 1997).	Caracterización. Vegetación y fauna. Descripción de expediciones y colecciones a la fecha. Biodiversidad y Ecología de la cuenca del Río Caura. Estudios especiales.	Peces, Amphibios y Reptiles, Aves, Mamíferos. Registro y compilación de mamíferos 192 especies y 106 comprobadas.	Balbás y Taphorn (1996). Señaris y Ayarzagüena (1996). Lentino (1996). Deza (1996). Mondolfi (1997).

I.4.2.2 Estado del conocimiento sobre la cobertura de la tierra y los inventarios de carbono en ecosistemas naturales

I.4.2.2 a) Cobertura de la tierra

Los bosques siempre verdes son el tipo de vegetación dominante en la región Guayana, con cifras muy variables según los análisis del Observatorio Mundial de Bosques (OMB-GFW, siglas de Global Forest Watch), con un informe publicado en el 2002, titulado: “Situación de los Bosques en Venezuela: La Región Guayana como caso de estudio” (Bevilacqua *et al.*, 2002). El equipo multidisciplinario de instituciones y organizaciones que conforman el Capítulo Venezuela del OMB, con el apoyo del Instituto de Recursos Mundiales (WRI por sus siglas en inglés), logró ofrecer una visión para el país de una superficie de cobertura boscosa de 427.000–495.000 km² para los años 1996 y 2000, basados en imágenes satelitales. En el análisis ahondan las razones de las variaciones en estas cifras. Asimismo, para mostrar las variaciones en cifras basadas en inventarios, la FAO reporta para 1990 aproximadamente 519.000 km² de cobertura boscosa. Esta variación en las cifras representa un escollo para contar con puntos de comparación para el manejo, de modo que se evidencia una necesidad y una oportunidad para desarrollar la coherencia que es fundamental para el monitoreo de la riqueza natural, los éxitos o fracasos de la conservación y un manejo con visión de desarrollo sustentable.

El mapa de cobertura de la tierra más recientemente validado con el que cuenta Venezuela es el “Mapa de Vegetación de Venezuela” del año 1995 (MARNR, 1996). Fue elaborado a una escala 1:250.000, mediante la interpretación de imágenes LANDSAT del año 1988. En el último reporte oficial sobre el “Estado de los Recursos Forestales de la República Bolivariana de Venezuela” (FRA, 2015), se indica que un nuevo mapa de cobertura de la tierra a nivel nacional fue elaborado en el año 2010, con base en imágenes de satélite SPOT y LANDSAT, pero que éste se encuentra todavía en proceso de validación.

Las cifras disponibles sobre la cobertura boscosa por entidad federal para la región guayanesa según el “Mapa de Vegetación de Venezuela” de 1995 se observan en la [tabla I.4.7](#). Se puede notar que los estados con mayor superficie boscosa son, el estado Bolívar, seguido de cerca por el estado Amazonas. Recientemente se han presentado algunas estimaciones de la cobertura boscosa nacional a partir del análisis de imágenes de satélite del año 2008 (Pacheco *et al.*, 2011a). En este trabajo se utiliza categorías regionales distintas a las usadas por el “Mapa de Vegetación de Venezuela” (MARN, 1995) el cual reporta la cobertura boscosa por entidad federal, mientras que Pacheco *et al.* (2011a) reportan por regiones del país ([Tabla I.4.7](#)). Siendo así, se estima que al sur del Río Orinoco (Región Sur) para el año 2008 se presentaba el 73,36% de la cobertura boscosa nacional. Los bosques del Delta del Orinoco son reportados dentro de la Región Nororiental, con un 6,59% de la cobertura boscosa nacional.

El mapa actualizado de cobertura de la tierra a nivel nacional que puede consultarse hasta la fecha es el de Huber y Oliveira-Miranda (2010). Éste contiene 23 tipos principales de cobertura, de los cuales 15 están presentes en la Guayana venezolana: bosques siempreverdes, bosques de palmas, bosques de pantano, bosques ribereños, bosques de manglar, bosques semidecuidos y deciduos, arbustales siempreverdes, arbustales tepuyanos, arbustales ribereños, herbazales tepuyanos y herbazales arbustivos sobre arenas blancas, sabanas con y sin componente leñoso, vegetación saxícola, y finalmente las áreas intervenidas. Este mapa está basado en el de Huber y Alarcón (1988) y en el procesamiento de imágenes recientes de varios sensores remotos. No es clara sin embargo la metodología de validación del mismo.

Tabla I.4.7 Cobertura boscosa en kilómetros cuadrados para las entidades federales de Venezuela y para las regiones del país.

Entidad Federal	Cobertura boscosa* (km ²)	Superficie del Estado*** (km ²)	Porcentaje de cobertura boscosa en la entidad	Porcentaje del total nacional (%)
Amazonas	163.629	177.617	92	38
Bolívar	179.809	240.528	75	41
Delta Amacuro	30.774	40.200	77	7
Total	374.212	458.345	----	86
Región			Cobertura boscosa** (km ²)	Porcentaje del total nacional (%)
Sur (Bolívar y Amazonas)			366.876	73.36
Nororiental (incluye también los estados Monagas, Anzoátegui y Sucre)			32.957	6.59

* Cifras tomadas de Bevilacqua *et al.*, (2002) en MARNR, (1996).

** Los cálculos de superficie de bosque en las regiones Sur y Nororiental fueron realizados por los autores, con base a la superficie oficial del país según el INE (916.445 km²) y la cobertura nacional de bosques estimada para el 2008 por Pacheco *et al.* (2011) en 54,57% del territorio nacional.

*** Las superficies de las entidades federales fueron tomadas del XIV Censo Nacional de Población y Vivienda, año 2011, del Instituto Nacional de Estadística (INE).

En la [tabla I.4.8](#) se presenta la cobertura por tipo de vegetación para las tres entidades federales que conforman la Guayana venezolana a partir de los mapas de vegetación de Huber y Alarcón (1988) y de Huber y Oliveira-Miranda (2010). Resalta el bosque siempreverde como la formación vegetal dominante en la Guayana venezolana, abarcando más de 289.000 km². En segundo lugar, están las sabanas con y sin componente leñoso, que superan los 75.000 km².

Tabla I.4.8 Tipos de vegetación, superficie de cobertura y porcentaje de cobertura en las tres entidades federales guayanesas. Los porcentajes se calcularon de acuerdo a la cobertura de vegetación total de cada estado. Los guiones significan datos faltantes.

Tipo de Vegetación	Entidad Federal	Área (1988) (km ²)	%	Área (2010) (km ²)	%
Bosques siempreverdes (per se)*	Amazonas	145.555	82	131.730	73
	Bolívar	150.372	60	148.208	62
	Delta Amacuro	13.320	34	10.080	27
		309.247		290.018	
Sabanas (con y sin componente leñoso)**	Amazonas	3.468	2	4.622	3
	Bolívar	58.641	23	48.674	20
	Delta Amacuro	4.698	12	4.994	13
		66.807		58.290	
Bosques semidecíduos	Amazonas	7.940	4	10.412	6
	Bolívar	23.534	9	15.499	7
	Delta Amacuro	1.853	5	1.363	4
		33.327		27.274	
Bosques de pantano con y sin palmas***	Amazonas	4.508	3	1.412	1
	Bolívar	---	---	1.301	1
	Delta Amacuro	15.433	40	13.687	36
		19.941		16.400	
Bosques ribereños	Amazonas	5.708	3	3.622	2
	Bolívar	8.505	3	8.560	4
	Delta Amacuro	0	---	630	2
		14.213		12.812	
Arbustales y herbazales tepuyanos****	Amazonas	2.891	2	3.400	2
	Bolívar	5.530	2	6.383	3
	Delta Amacuro	---	---	---	---
		8.421		9.783	
Arbustales siempreverdes	Amazonas	296	0	4.396	2
	Bolívar	1.670	1	5.738	2
	Delta Amacuro	0	0	0	0
		1.966		10.134	
Herbazales arbustivos sobre arena blanca	Amazonas	4.752	3	8.083	4
	Bolívar	---	---	---	---
	Delta Amacuro	---	---	---	---
		4.752		8.083	
Bosques de manglar	Amazonas	---	---	---	---
	Bolívar	---	---	---	---
	Delta Amacuro	2.587	7	4.513	12
		2.587		4.513	
Bosque decíduo	Amazonas	323	0	0	0
	Bolívar	1.484	1	3.904	2
	Delta Amacuro	0	0	151	0
		1.807		4.055	
Arbustales sobre arena blanca	Amazonas	1.693	1	12.017	7
	Bolívar	---	---	---	---
	Delta Amacuro	---	---	---	---
		1.693		12.017	

Tabla I.4.8 Cont.

Tipo de Vegetación	Entidad Federal	Área (1988)	%	Área (2010)	%
		(km ²)		(km ²)	
Herbazales e pantano	Amazonas	0	0	0	0
	Bolívar	0	0	0	0
	Delta Amacuro	1.013	3	2.601	7
		1.013		2.601	
Vegetación saxícola	Amazonas	----	----	<2.000	<1
	Bolívar	----	----	----	----
	Delta Amacuro	----	----	----	----
		----		<2.000	
Total de cobertura vegetal por entidad federal	Amazonas	177.134		179.694	
	Bolívar	249.736		238.267	
	Delta Amacuro	38.904		38.019	

- * “Bosque siempreverde per se” se refiere a los bosques siempreverdes de tierra firme.
- ** Se sumaron las superficies de las sabanas con y sin árboles y arbustos.
- *** Se sumaron las superficies de los bosques de pantano y los bosques con palmas.
- **** Se sumaron las superficies de los arbustales y herbazales tepuyananos

Fuente: Adaptada de Huber y Alarcón, 1988; Oliveira-Miranda *et al.*, 2010.

La cobertura boscosa total de la Guayana estimada a partir de los datos reportados por Oliveira-Miranda *et al.* (2010) es de aproximadamente 355.000 km². Esta difiere con la reportada por el MARNR (1996) en aproximadamente 20.000 km². Las causas de las discrepancias entre diferentes estimaciones de la cobertura de la tierra en Venezuela son discutidas en detalle por Bevilacqua *et al.* (2002), quienes resaltan la importancia de contar con una base cartográfica oficial actualizada a las diferentes escalas espaciales necesarias, para fines del seguimiento de los cambios de cobertura en el país.

En cuanto a los patrones de la cobertura de la vegetación por entidad federal que se reportan en el análisis de Huber y Oliveira-Miranda (2010), en el estado Amazonas el bosque siempreverde comprende el 73% de la cobertura total. El 17% restante está representado por comunidades minoritarias, como los arbustales ribereños, los bosques semidecíduos, los bosques ribereños, y los arbustales y herbazales tepuyananos. Hay una diferencia de 2.560 km² en la superficie de cobertura de vegetación total reportada en ambos mapas en el estado Amazonas. Según los datos suministrados por Oliveira-Miranda *et al.* (2010), en 1988 la suma de la cobertura de todos los tipos de vegetación del estado Amazonas era de 177.134 km², mientras que en el 2010 fue de 179.694 km². La superficie total oficial del estado Amazonas según el Instituto Nacional de Estadística es de 177.617 km² (INE, 2011), es decir, que en el mapa de 2010, se excede en poco más de 2.000 km² la superficie oficial de la entidad federal. Esto puede deberse a errores de proyección de las imágenes usadas, o errores en la base cartográfica sobre la cual se adecuaron las imágenes.

Adicionalmente, los autores comentan que en el mapa del 2010 fue posible distinguir algunas formaciones vegetales por su respuesta espectral distintiva. Por ejemplo, una formación importante en superficie como los arbustales ribereños del estado Amazonas, logró diferenciarse del bosque siempreverde a través de las imágenes de radar, aspecto que no se había logrado en el mapa de 1988 (Huber y Oliveira-Miranda, 1988). Esto compensa la aparente reducción en superficie del bosque siempreverde en el estado Amazonas al comparar los datos de 1988 y 2010.

En el estado Bolívar, el bosque siempreverde ocupa el 62% de la cobertura total para el año 2010; es decir, un 2% más de lo reportado en 1988 (Tabla I.4.8). Sin embargo, de acuerdo con los datos de 1988 la cobertura total de la vegetación calculada superaba en más de 9.000 km² la superficie oficial del estado (INE, 2011). Esto aparentemente fue mejorado en el mapa del 2010, donde la cobertura total de todos los tipos de vegetación, más la superficie ocupada por los cuerpos de agua, más las áreas intervenidas, se acercan a los poco más de 240.000 km² de superficie oficial del estado Bolívar. Cabe destacar que en el estado Bolívar las sabanas ocupan una superficie muy importante, con el 20% de la cobertura total. Muy importantes también son los arbustales sobre arena blanca y los bosques semidecíduos, ocupando 12.000 y 10.000 km², respectivamente.

En el Delta Amacuro el bosque de pantano con y sin palmas, y el bosque siempreverde, son las dos formaciones dominantes, con poco más de 13.000 y 10.000 km², respectivamente. La sabana es la tercera formación vegetal más extensa, con casi 5.000 km², seguida de cerca por los bosques de manglar, con 4.513 km². Para este estado, precisamente, la mayor diferencia en estimación fue hecha para los bosques de manglar, los cuales reportan para el año 2010 unos 2.000 km² más de superficie que en 1988.

La extensión y variabilidad espacial de estas y de otras comunidades de plantas en la región deberían estar estimadas con un alto grado de confianza a distintas escalas espaciales (desde lo local a lo regional). Trabajos especializados en el área han señalado de forma reiterada los problemas asociados con la base cartográfica actual que está utilizando el país, que conlleva diferencias importantes en la estimación de los patrones de cobertura de regiones vastas como la Guayana. Estos errores podrían producir a su vez resultados con altos niveles de incertidumbre cuando, a partir de estas estimaciones de cobertura, se pretenda calcular los inventarios de carbono de los sistemas. Los inventarios de carbono, representan información básica para la estimación de los sumideros de carbono, y en consecuencia, para los inventarios de gases de efecto invernadero de Venezuela. Esta información es necesaria a los fines de definir medidas concretas de mitigación respecto al cambio climático.

I.4.2.2 b) Inventarios de carbono

Los dos últimos informes sobre el Estado de los Recursos Forestales (FRA, 2010; 2015), indican que Venezuela no cuenta con inventarios de carbono para ningún ecosistema natural. Esto llama la atención, porque deberían existir inventarios, al menos para las reservas forestales que se están explotando en la actualidad (como la Reserva Forestal de Imataca, en el noreste del estado Bolívar). Existe sin embargo una serie de esfuerzos de investigación que se han realizado en el país desde la década de los 80 del siglo pasado y hasta la actualidad, y aunque los estudios son dispersos, han aportado datos valiosos que podrían articularse en una base de datos nacional.

En la [tabla I.4.10](#) se presenta un resumen de algunos de los trabajos científicos publicados para la región guayanesa, donde se reportan valores de carbono orgánico del suelo (COS), biomasa en pie, aérea o subterránea, o datos de área basal y composición florística, que podrían utilizarse en la modelización de la densidad de la biomasa. Esta información, muchas veces obtenida bajo distintas metodologías y en diferentes momentos, puede ser estandarizada *a posteriori* para ser aprovechada en la construcción de las bases de datos nacionales. La base de datos global de suelos es un ejemplo de ello (<http://www.fao.org/global-soil-partnership/pillars-action/4-information-and-data/global-soil-organic-carbon-gsoc-map>).

Es posible hacer algunas aproximaciones sobre la densidad de carbono contenida en los sistemas guayaneses al observar los modelos globales más recientes, con una resolución de $0,5^\circ \times 0,5^\circ$. Malhi *et al.* (2006) modelaron la distribución del área basal en los sistemas amazónicos, hallando que, para la Guayana venezolana, las mayores áreas basales están en el sur del estado Amazonas, noroccidente y nororiente del estado Bolívar, con valores entre 29 y más de $31 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$. De modo que al aplicar las ecuaciones alométricas para el cálculo de la biomasa de árboles en pie, que ponderan el área basal y la densidad de la madera, la cual es alta en los bosques guayaneses, la Guayana resulta con una alta densidad de carbono contenido en la biomasa de árboles en pie. Los valores se estimaron en $320\text{-}325 \text{ t ha}^{-1}$ (de biomasa seca), con extremos de 340 para la frontera Bolívar-Delta Amacuro. En términos generales, se acepta que la biomasa viva posee alrededor del 50% de contenido de carbono, por lo que estos valores pueden traducirse en alrededor de $160\text{-}170 \text{ t C ha}^{-1}$.

Por su parte, Jörn *et al.* (2014) le otorgan a los ET al sur del Orinoco valores de densidad de carbono en la biomasa de entre 150 y 200 t C ha^{-1} , siendo inferior para el área sudeste del estado Bolívar (Gran Sabana, con alrededor $50\text{-}75 \text{ t C ha}^{-1}$), y hacia el oriente del estado Amazonas. La densidad de carbono en el COS para la región guayanesa en este mismo estudio varía entre los 25 y 200 t C ha^{-1} , siendo mayor en el nororiente del estado Bolívar y en el sur y suroriente de Amazonas. Los valores más altos del COS los posee Delta Amacuro, como se puede deducir de la gran proporción de

suelos fangosos e histosoles que se presentan allí, con valores por encima de las 300 t C ha⁻¹ en el COS. El estudio de Kochy *et al.* (2015), le otorga a la región guayanesa entre 20 y 50 t C ha⁻¹ en el COS. Pero en el Delta Amacuro estos valores ascienden hasta 300 t C ha⁻¹.

Considerando que los bosques siempreverdes *per se* en la región guayanesa, abarcan 29 millones de hectáreas, según el análisis de Oliveira-Miranda *et al.* (2010) (Tabla I.4.8), y asumiendo una densidad de carbono de 100-200 t C ha⁻¹, los bosques guayaneses venezolanos, incluyendo los tres estados guayaneses, contendrían al menos entre 2,9 y 5,8 Pg C en la biomasa y >1 Pg C en el COS del primer metro de suelo (este último cálculo tomando los valores conservadores de Kochy *et al.* (2015) de 50 t C ha⁻¹). Estos cálculos no consideran la mayor contribución al COS del Delta Amacuro, con sus vastos sistemas ribereños y bosques de pantano.

Las sabanas, que constituyen el segundo sistema en superficie, con 5,8 millones de hectáreas y una densidad de carbono en la biomasa y el COS de 50-75 t C ha⁻¹ y 25 t C ha⁻¹, respectivamente, contendrían al menos 0,29 Pg C en la biomasa y 0,15 Pg C en el COS. En ambos casos, se trata de valores que podrían estar subestimados, dado que dentro de las sabanas guayanesas se consideran aquellas con palmas (morichales) y aquellas submesotérmicas, que en ambos casos presentan mayores valores de acumulación, tanto de la biomasa aérea como de la biomasa subterránea y el COS.

Es importante notar que cuando se revisan las bases de datos con las cuales se realizan los modelos continentales o globales y se buscan los datos usados para Venezuela, se hallan los trabajos de Saldarriaga *et al.* (1988) en el sur del estado Amazonas y Delaney *et al.* (1997) (se pueden obtener los datos de ambos en Sarmiento *et al.*, 2005), que son datos puntuales levantados hace más de 30 años. Es evidente la necesidad de actualizar y ampliar los datos de campo en cuanto a los inventarios de carbono en los ET guayaneses.

I.4.2.2 c) Grados de intervención humana

La Guayana posee menos del 7% de la población venezolana (INE, 2011), y por ende es una de las regiones menos intervenidas del país. La superficie ocupada por los centros poblados, infraestructura, o destinada a la producción agropecuaria en los estados Amazonas y Delta Amacuro es muy pequeña con respecto a la vasta cobertura de la vegetación natural. En el estado Bolívar la situación es un tanto diferente, pues es el estado guayanés con mayor población (con el 5% de la población nacional y el 82% de la población guayanesa, según el INE, 2011), y con mayor desarrollo urbano, minero, industrial y agropecuario. Algunas áreas, como la cuenca del Río Caroní, han sido estudiadas con mayor detalle y serán usadas en este trabajo para ilustrar la naturaleza y extensión de las actividades antrópicas en el estado Bolívar. El Río Caroní alimenta la Central Hidroeléctrica Simón Bolívar y al sistema de represas construidas a lo largo del sistema, que en conjunto suministran más del

70% de la energía eléctrica nacional. De este carácter estratégico se desprende la especial atención que se ha destinado a la dinámica de la cobertura de la tierra en esta cuenca hidrográfica, que abarca 92.170 km² o un 38,3% del estado Bolívar.

Los tipos de cobertura de las cuencas de los ríos Caroní y Paragua se presentan en la [Tabla I.4.9](#) y fueron extraídos del “Plan Maestro de la Cuenca del Río Caroní” (EDELCA-CORPOELEC, 2004). La superficie que ocupan las formaciones vegetales naturales es de aproximadamente 84.000 km², o 91% de la superficie de la cuenca. La fuente de datos de este informe proviene en gran medida del proyecto “Inventario de los recursos naturales de la Guayana” y de los mapas temáticos elaborados en el marco de este proyecto por CVG-TECMIN entre los años 1985-1994.

Tabla I.4.9 Superficie ocupada por cada formación vegetal en cada sector de la Cuenca del Río Caroní.

	Sectores (ha)					Total de la Cuenca	Porcentaje (%)
	Bajo Caroní	Medio Caroní	Alto Caroní	Alto Paragua	Bajo Paragua		
Bosques	424.812	1.199.812	1.387.105	1.993.354	1.007.618	6.012.701	65.24
Sabanas	255.395	138.786	786.837	6.667	130.504	1.318.189	14.30
Formaciones arbustivas	62.076	375.009	242.011	206.097	244.901	1.130.094	12.26
Total formaciones vegetales	742.283	1.713.607	2.415.953	2.206.118	1.383.023	8.460.984	91.80
Superficie del Sector	1.315.966	1.743.363	2.450.688	2.215.464	1.491.427	9.216.908	100.00

Fuente: EDELCA-CORPOELEC, 2004.

La [tabla I.4.9](#) muestra el resumen del análisis de más de 130 tipos de cobertura a una escala 1:250.000. La cobertura boscosa predomina en la cuenca con más del 65% de la cobertura total. Esto incluye una vasta superficie de bosques siempreverdes macrotérmicos, submesotérmicos y mesotérmicos (de acuerdo al bioclima asociado), y una porción relativamente pequeña de bosques semidecíduos o deciduos (apenas unas 360.000 ha). La segunda cobertura en importancia es la vegetación herbácea, lo que incluye sabanas macrotérmicas con componente leñoso variable, las sabanas abiertas submesotérmicas y en tercer lugar los herbazales latifoliados. La tercera cobertura en importancia es la arbustiva (arbustales macrotérmicos, submesotérmicos y tepuyanós).

En cuanto a la intervención humana en la cuenca, cabe destacar que poco más del 80% de la cuenca se encuentra bajo alguna figura de protección, sin embargo, el Plan Maestro reconoce que las ABRAE (Áreas Bajo Régimen de Administración Especial), no comprenden un cuerpo articulado. La minería legal e ilegal es una de las actividades más extendidas y difíciles de controlar, cuyos efectos en el paisaje no son monitoreados de forma sistemática. Las localidades más impactadas por la minería de oro y diamante, de acuerdo con el Plan Maestro, son el bajo Paragua y el alto Caroní, específicamente

en la cuenca del Río Icabarú. No se ofrecen cifras sobre la superficie total impactada por estas actividades en los diferentes sectores de la cuenca. Puede inferirse, por su carácter disperso, que estos focos de transformación del paisaje son difíciles de cuantificar a escalas gruesas, como la usada en este trabajo. Las actividades agropecuarias representan casi el 5% de la cuenca y se concentran mayoritariamente en el bajo Caroní y el bajo Paragua, con 176.747 ha en total (137.479 ha dedicadas al sector ganadero y 39.267 al sector agrícola).

La porción más intervenida de la Cuenca, por la presión demográfica, expansión urbana y actividades agropecuarias, es el bajo Caroní. A este respecto, en el Plan Maestro se expresa textualmente: "Es importante resaltar que el bajo Caroní ha sido fuertemente intervenido en los últimos 30 años, cambiando el uso de la tierra. Sin embargo, este proceso sólo ha conllevado a la existencia de áreas sub-utilizadas y de baja producción agrícola y pecuaria y a una actividad maderera realizada sin manejo". En el bajo Caroní se encuentra una gran superficie intervenida asociada a la presencia del embalse de El Guri y otros embalses más pequeños. El Guri, junto con los cuerpos de agua naturales, cubren casi 400.000 ha (unos 300.000 ha la represa, y el resto, los cuerpos de agua naturales). Las explotaciones mineras metálicas a cielo abierto (hierro fundamentalmente), ocupan 1.455 ha, mientras que la minería no metálica (arena y cuarzo principalmente), unas 2.360 ha. Los centros urbanos ocupan unas 4.000 ha.

Tabla I.4.10 Resumen de algunos de los trabajos científicos publicados en la Guayana venezolana, que cuentan con datos cuantitativos sobre el carbono orgánico contenido en los suelos (COS), o aportan datos sobre la estructura comunitaria (abundancia de especies, diámetro a la altura al pecho -DAP-, área basal, etc.).

Referencia	Ubicación			Tipo de comunidad	Suelo Profundidad (cm)	Carbono		Mantillo Orgánico		Vegetación	
	Región	Localidad	Coordenadas			% COS	MOS (t/ha)	t/ha	C (t/ha)	Área Basal (m ² /ha)	Diversidad florística (riqueza)
Dezzeo y Folster (1994)	Gran Sabana			perfil típico bajo bosque	0-10	9.1	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
					10--20	6.8					
					20-30	5.1					
					30-50	2.0					
					50-100	0.5					
	Gran Sabana	Kako, Sabanita y Karaurin	NO y NE de San Ignacio de Yuruaní	bosques-sabanas	0-10	8,31 ± 3,38	N/D	N/D	N/D	1,22 - 17,27	15
					10--20	5,34 ± 1,55					
					20-30	3,67 ± 1,54					
					30-50	1,99 ± 0,68					
					50-100	1,46 ± 1,17					
	Gran Sabana	Sabanita	5°02' N, 61°00' O	bosques medios y bajos	0-10	7,39 ± 1,23	102.0	16.2	10.3	11-24,4	26
					10--20	5,27 ± 0,86					
					20-30	2,67 ± 0,51					
					30-50	2,1 ± 0,37					
	Gran Sabana	Sabanita	5°02' N, 61°00' O	bosques medios y altos	0-10	11,49 ± 2,25	195.5	64.4	20.4	29,5-66,4	23
					10--20	7,43 ± 0,88					
20-30					5,24 ± 0,67						
30-50					2,62 ± 0,79						

Tabla I.4.10 Cont.

Referencia	Ubicación			Tipo de comunidad	Suelo Profundidad (cm)	Carbono		Mantillo Orgánico		Vegetación		
	Región	Localidad	Coordenadas			% COS	MOS (t/ha)	t/ha	C (t/ha)	Área Basal (m ² /ha)	Diversidad florística (riqueza)	
Dezseo y Folster (1994)	Gran Sabana	Sabanita	5°02' N, 61°00' O	matorrales	0-10	5,68 ± 1,03	78.2	16.2	5	N/D	N/D	
					10--20	6,71 ± 1,10						
					20-30	1,58 ± 0,30						
					30-50	1,9 ± 0,54						
	Gran Sabana	kako	5°12' N, 61°15' O	bosque secundario	0-10	7,81 ± 1,63	87.3	39.5	13	11,5-40,0	29	
					10--20	4,08 ± 0,57						
					20-30	4,04 ± 1,65						
					30-50	2,45 ± 0,33						
	Gran Sabana	kako	5°12' N, 61°15' O	claros en bosques secundarios	0-10	6,38 ± 1,07	64.4	40.6	11.3	16,8-37,0	29	
					10--20	3,51 ± 0,78						
					20-30	3,54 ± 0,84						
					30-50	1,14 ± 0,19						
	Gran Sabana	kako	5°12' N, 61°15' O	matorrales	0-10	7,75 ± 2,35	89.1	17.2	N/D	0,6-4,0	12	
					10--20	4,71 ± 1,15						
					20-30	3,42 ± 1,16						
					30-50	1,56 ± 0,48						
	Gran Sabana	toda la region		bosque			93.8	ND				
				matorral			85.0					

Tabla I.4.10 Cont.

Referencia	Ubicación			Tipo de comunidad	Suelo Profundidad (cm)	Carbono		Mantillo Orgánico		Vegetación		
	Región	Localidad	Coordenadas			% COS	MOS (t/ha)	t/ha	C (t/ha)	Área Basal (m ² /ha)	Diversidad florística (riqueza)	
Dezseo (1994)	Gran Sabana	sabanita	5°02' N 61°00' O	sabana lisa pocos elementos gruesos	0-10 *	2.57	N/D	N/D	N/D	N/D	24	
					0-10 **	5.88						
					0-10 (valle)	5.92						
		sabanita	5°02' N 61°00' O	sabana lisa abundantes elementos gruesos	0-10 *	2.09		N/D	N/D	N/D	N/D	29
					0-10 **	2.71						
					0-10 (valle)	9.32						
		karaurin		arbustal esclerófilo	0-10	1.77		N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
					30-40	1.37						
		karaurin		herbazal latifoliado	0-10	16.00		N/D	N/D	N/D	N/D	13
					30-40	6.88						
Briceño, Balbás y Blanco (1997)	Bajo Rio Caura	Sector Aripao	6°57'-7°38'N, 64°52'-65°12' O	bosques ribereños (suelos Typic Kandiudults)	0-10	1.19	N/D	9,5-39,8	99			
					10-22	0.66						
					22-80	0.5						
					80-166	0.29						
				bosques ribereños (suelos Aquic Humitropepts)	0-17	6.45						
					17-37	1.61						
					37-58	1.19						
				bosques ribereños (suelos Aquic Dystropepts)	0-9	1.11						
					9-17	0.18						
					17-39	0.18						
					39-58	0.18						
					58-72	0.18						

Tabla I.4.10 Cont.

Referencia	Ubicación			Tipo de comunidad	Suelo Profundidad (cm)	Carbono		Mantillo Orgánico		Vegetación		
	Región	Localidad	Coordenadas			% COS	MOS (t/ha)	t/ha	C (t/ha)	Área Basal (m ² /ha)	Diversidad florística (riqueza)	
Ramos y Blanco (1997)	Medio Río Caura	Cerro Mani-Cerro Chanaro	5°10' - 5°20' N 63°20' - 63°10' O	colinas (Typic Kandiodox)	0-13	1.90	N/D					
					0-10	2.63						
					13-48	0.70						
					10--39	1.45						
					39-65	1.11						
					48-95	0.49						
					65-100	0.80						
					95-123	0.38						
					123-148	0.38						
			5°10' - 5°20' N 63°20' - 63°10' O	colinas Bosque alto (Oxyaquic Kandiodults)	0-12	1.45	N/D					
					0-17	1.33						
					0-18	0.84						
					12--58	0.19						
					17-25	0.59						
					18-56	0.30						
					25-80	0.39						
					56-91	0.24						
					58-108	n/d						
					80-117	0.29						
					117-145	0.29						
			108-160	n/d								
			91-160	0.24								
			5°10' - 5°20' N 63°20' - 63°10' O	colinas Bosque alto (Typic Haplohumult)	0-23	0.59	N/D					
					23-40	1.33						
					40-58	0.19						

Tabla I.4.10 Cont.

Referencia	Ubicación			Tipo de comunidad	Suelo Profundidad (cm)	Carbono		Mantillo Orgánico		Vegetación								
	Región	Localidad	Coordenadas			% COS	MOS (t/ha)	t/ha	C (t/ha)	Área Basal (m ² /ha)	Diversidad florística (riqueza)							
Ramos y Blanco (1997)			5°10' - 5°20' N 63°20' - 63°10' O	Lomas medias bosque Alto (Typic Kandiodox)	0-12	1.50	N/D											
					12--30	0.90												
					30-60	0.59												
					60-95	0.59												
					95-120	0.38												
					120-145	0.38												
			5°10' - 5°20' N 63°20' - 63°10' O	llanuras aluviales Bosque Ribereño(Typic Kandihumult)	0-16	4.00						N/D						
					16-34	1.67												
					34-88	1.01												
					88-133	0.38												
		Rio Chanaro	5°10' - 5°20' N 63°20' - 63°10' O	bosque alto (Typic Hapludox)	0-20	1.11	N/D											
					20-40	0.59												
					40-78	0.19												
					78-108	0.19												
					108-149	0.09												
		5°10' - 5°20' N 63°20' - 63°10' O	bosque alto (Typic Kanhaplohumult)	0-23	5.08	N/D												
				23-49	1.11													
				49-70	0.70													
		Chanaro-Marik	5°10' - 5°20' N 63°20' - 63°10' O	bosque medio (Typic Kandiodox)	0-15	4.14	N/D											
					15-52	1.33												
52-88	0.09																	
88-120	0.09																	

Tabla I.4.10 Cont.

Referencia	Ubicación			Tipo de comunidad	Suelo Profundidad (cm)	Carbono		Mantillo Orgánico		Vegetación		
	Región	Localidad	Coordenadas			% COS	MOS (t/ha)	t/ha	C (t/ha)	Área Basal (m ² /ha)	Diversidad florística (riqueza)	
Dezzeo y Briceño (1997)	Medio Rio Caura	Cuenca Rio Chanaro	5°10' - 5°20' N 63°45' - 63°10' O	bosque regular	0-20	1.76	N/D			30.04	42	
					20-40	0.99						
				bosque Irregular	0-20	2.02				21.8	51	
					20-40	1.05						
				bosque de palmas	0-20	0.82				47.8	36	
					20-40	0.10						
Ramos y Blanco (1997)	Cuenca de Rio Caura	Sierra de Maigualida	5°33'N 65°13' O	bosque bajo tepuyano (trophemist)	10--20	48.81	N/D					
		Serrania Uasadi-Jidi	5°21'N, 65°12' O		bosque bajo (tropofibrist)	10--35						50.79
				herbazal (Humitropept)		25-50						53.21
						50-70						10.82
						70-90						0.83
					0-8	38.48						
				8--38	4.33							
				38-58	3.80							
				0-10	1.37							
		10--40	0.26									
Chacón y Dezzeo (2004)	Gran Sabana	toda la region	4°45' - 5°30' N 60°30' - 60°22' O	bosque alto primario	0-10	6,18 ± 2,24	N/D					
					10--20	3,99 ± 0,32						
				bosque alto secundario	0-10	5,47 ± 1,59						
					10--20	3,42 ± 0,32						
				bosque bajo secundario	0-10	2,78 ± 0,27						
					10--20	2,32 ± 0,31						
				sabana	0-10	2,54 ± 0,34						
					10--20	2,4 0± 0,47						

Tabla I.4.10 Cont.

Referencia	Ubicación			Tipo de comunidad	Suelo Profundidad (cm)	Carbono		Mantillo Orgánico		Vegetación	
	Región	Localidad	Coordenadas			% COS	MOS (t/ha)	t/ha	C (t/ha)	Área Basal (m ² /ha)	Diversidad florística (riqueza)
Cuenca <i>et al.</i> (2004)	Gran Sabana	Parupa		bosque	N/D	2.04	N/D				
Dezseo, Hernandez y Folster (1997)	PN Canaima	Rio Uriman	5°20' -6°00' N 62°30' -63°00'	bosque medio continuo (Dieback)	0-20	4.14	N/D	48,2 ± 13,9	N/D		
					20-40	2.71					
					40-60	2.88					
					60-80	1.65					
				matorral-bosque medio bajo (Dieback)	0-20	2.40	N/D				
					20-40	2.30					
				bosque medio continuo	0-20	3.18	N/D	39,1 ± 5,2	N/D		
					20-40	2.09					
					40-60	1.37					
					60-80	0.79					
				matorral-bosque medio bajo (No afectado)	0-20	2.82					
					20-40	2.25					
40-50	2.16										
Ramirez, Dezseo y Chacon (2007)	Gran Sabana	Toron	N/D	sabana ligera pendiente	0-20	4,40 ± 0,09	N/D				
		Liworiwo		sabana fuerte pendiente	0-20	3,43 ± 0,63					
		Aeropuerto		sabanas planas arenosas	0-20	1,55 ± 0,23					
		Mision		sabanas planas arenosas perturbadas	0-20	2,79 ± 0,31					

Tabla I.4.10 Cont.

Referencia	Ubicación			Tipo de comunidad	Suelo Profundidad (cm)	Carbono		Mantillo Orgánico		Vegetación	
	Región	Localidad	Coordenadas			% COS	MOS (t/ha)	t/ha	C (t/ha)	Área Basal (m ² /ha)	Diversidad florística (riqueza)
Fuentes y Madero (1996)	Cuenca de Río Caura		7°25' N 65°10'30" O	peniplanicie sobre granito (Kandiustult)	>150	0,67 (0,09)	N/D				
			6°09' N 63°23' O	lomerío sobre granito (Kandiudult)	>150	1,11 (0,09)					
			7°34' N 65°30' O	planicie sobre aluvión (Kandiaquult)	>150	1,34 (0,13)					
			6°32' N 64°52' O	lomería sobre diabasa (Kandihumult)	>150	1,78 (0,48)					
			4°28' N 63°00' O	lomerío sobre metasedimentaria (Orthent)	20	1.67					
			4°14' N 64°58' O	plateu sobre granito (Troporthent)	20	13.52					
			N/D	pedemonte sobre arenisca (Quarzipsamment)	20	2,76- 4,25					

I.4.2.2 d) Cambios de uso de la tierra y transformación del paisaje

En América del Sur tropical la deforestación comprende una de las principales fuentes de emisión de carbono a la atmósfera, por transformación del paisaje y cambios de uso de la tierra (IPCC 2007; Baccini *et al.* 2012; Gloor *et al.* 2012). Los documentos de referencia a nivel nacional, en lo que a deforestación se refiere, son los informes oficiales de evaluación del estado de los recursos forestales (*Forest Resource Assessment* o FRA por sus siglas en inglés), que el Estado venezolano le entrega a la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación, por sus siglas en inglés).

El informe del año 2010, refiere los valores de deforestación del país entre los años 1990, 2000, 2005 y 2006, por proyección lineal de las cifras de deforestación que se manejaron entre 1977 y 1995 (FRA 2010). Estas tasas rondaban el 2,9% por cada 5 años (o 0,6% anual de pérdida de superficie boscosa)^{I.4.2}. De acuerdo a los cambios de cobertura boscosa nacional reportados en el FRA (2015), esa tasa descendió en el período 1995-2010 a aproximadamente 0,48% al año^{I.4.3}. Sin embargo, estos datos son de poca utilidad para el diseño de políticas para la mitigación del cambio climático, porque los informes no detallan los patrones de deforestación en las distintas entidades federales, sino que ofrecen únicamente cifras globales para el país.

Recientemente, se han realizado tres trabajos que abordan a escala nacional el aspecto de los cambios de uso de la tierra y transformación del paisaje en Venezuela. En primer lugar, el análisis del estado de conservación de los ecosistemas terrestres liderado por Rodríguez *et al.* (2010) y publicado en el “Libro Rojo de los Ecosistemas Terrestres de Venezuela”, donde se presenta el mapa de vegetación de Huber y Oliveira-Miranda (2010) abordado con detalle en la sección anterior. Este trabajo tuvo por objeto evaluar el grado de amenaza de los ecosistemas terrestres venezolanos a nivel cualitativo, y para ello se realizó la comparación de los mapas de vegetación de Huber y Alarcón (1988) y de Huber & Oliveira-Miranda (2010). A partir de este análisis se clasificaron los ecosistemas terrestres en categorías de grado de amenaza. Esta comparación pasa, sin embargo, por muchas limitaciones metodológicas que se discuten en la publicación original ampliamente. De acuerdo con Oliveira *et al.* (2010), la Guayana venezolana permanece con grados de intervención medios a bajos. Se resalta también que no se cuenta con información para buena parte de la región, especialmente para los estados Amazonas y Delta Amacuro.

^{I.4.2} Cálculos realizados por los autores con base a las cifras presentadas en el FRA (2010), que indican una reducción de la cobertura boscosa de 52.056.000 ha en 1977 a 46.275.000 ha en 2010.

^{I.4.3} Estos cálculos se realizaron por los autores basados en las superficies boscosas de los años 1995 y 2010 reportadas en el FRA (2015) que fueron de 49.665.812 y 46.457.369 ha respectivamente.

La Guayana venezolana posee también la mayor proporción de ABRAE en el país y la menor densidad de población. Las fuerzas motrices más importantes que causan la deforestación son: la explotación maderera comercial (como en el caso de la Reserva Forestal de Imataca), la minería (como en el centro oriente y sur del estado Bolívar) y el cambio de la agricultura tradicional a la comercial de pequeña escala (como en la cuenca media del Río Caura, ver también Bevilacqua *et al.*, 2002).

La segunda y tercera iniciativas para evaluar la deforestación en Venezuela son los estudios de Pacheco *et al.* (2011a y b y 2014). Pacheco *et al.* (2011a) analizan los patrones espaciales de la deforestación en el período 1920-2008. Este trabajo posee muchas limitaciones en cuanto a sus estimaciones cuantitativas, pues se basó en la intercomparación de mapas elaborados en distintas épocas y con distintos métodos, combinada con el uso de sensores remotos para años recientes. Las fuentes de error son muy grandes, sobre todo en cuanto a la extensión de los ecosistemas a principios del siglo XX. Las categorías de clasificación de la vegetación han cambiado también desde entonces. La utilidad del trabajo radica, sin embargo, en mostrar con resultados empíricos (aunque a nivel cualitativo), los lugares que han experimentado mayor deforestación a nivel nacional, discutiendo los contextos económicos y sociales de cada época (ver también Pacheco *et al.*; 2011b). La Guayana venezolana no representa un foco de atención en este sentido, cuando se analiza una ventana espacial y temporal tan amplia, pues los procesos de deforestación más acelerados se encontraron al norte del Orinoco.

El trabajo de Pacheco *et al.* (2014) persiguió, por su parte, la identificación de los *hotspots* de deforestación en Venezuela a través de imágenes MODIS en el período 2005-2010 y de la comparación de los resultados obtenidos por esta vía, con la opinión de una serie de expertos en distintos lugares de Venezuela. En este caso, la Guayana venezolana contiene *hotspots* de deforestación, especialmente en la Reserva Forestal de Imataca, la cuenca del Río Caura, y las inmediaciones de los centros poblados donde la minería legal e ilegal son actividades económicas importantes. La expansión urbana fue importante en las áreas que rodean algunas ciudades, como Puerto Ayacucho. Las tasas de deforestación evaluadas para estos lugares estuvieron entre el 0,37 y el 0,20% de reducción anual de la superficie boscosa.

Los mismos *hotspots* de deforestación identificados por Pacheco *et al.* (2014), son señalados en estudios globales como el de Román-Cuesta *et al.* (2016), quien determinó los *hotspots* de emisiones de CO₂ asociados con la deforestación y el cambio de uso de la tierra en el período 2000-2005 en los trópicos. Los autores no mencionan a Venezuela en el texto del artículo, pero representan al país en unos pocos cientos de *pixeles*, en un modelo espacial que atribuye emisiones de entre 1,7 y 3,7 Gt CO₂e (emisiones convertidas a su equivalente en cantidad de CO₂), al año para el norte y centro-norte del estado Bolívar. Estas emisiones son atribuidas a la deforestación específicamente. Es importante resaltar que Venezuela debe ponerse al día con las evaluaciones de los cambios de cobertura, pues

muchos de los estudios globales más recientes, como el de Gloor *et al.* (2012), no incluyen al país en sus análisis, por carecer de datos confiables.

Otro estudio global reciente sobre los patrones de deforestación en América del Sur, es el de De Sy *et al.* (2015), quienes se basaron también en la interpretación de imágenes de satélite para el período 1990-2005. Para el sur del Orinoco, el mayor fenómeno de transformación del paisaje registrado en este modelo, es la construcción de la represa de El Guri. Resalta también la conversión de bosques en pasturas en el noreste del estado Bolívar con emisiones asociadas entre 75 y 225 tC para el período considerado, y la conversión de bosques por "otros usos" en el borde norte y sur de la Gran Sabana, aparentemente relacionado con la minería asociada a los centros poblados de las Claritas e Icabará, aunque la escala gruesa del mapa generado no permite la diferenciación con certeza de las localidades. Las emisiones asociadas con estos últimos también están entre 75 y 225 tC.

Las actividades tradicionales de los diversos pueblos indígenas que habitan la Guayana, según algunos estudios locales en la Reserva Forestal de Sipapo, estado Amazonas (Zager y Carrasquel, 2010) y en Kamarata, Parque Nacional Canaima, estado Bolívar, (Fantua *et al.*, 2013), representan tasas de conversión del paisaje muy bajas. Por ejemplo, una tasa de 0,064% anual de conversión de bosques a conucos y rastrojos fue calculada en un estudio de Flantua *et al.* (2013). Así las actividades tradicionales de los indígenas parecen impactar de forma acelerada e irreversible sobre el paisaje sólo cuando los centros poblados crecen aceleradamente y esto se combina con cambios en los patrones tradicionales de uso de la tierra (Kingsbury, 1999, 2001, Delgado *et al.*, 2009).

De lo anterior se puede concluir que los cambios de cobertura acompañados de las potenciales emisiones de CO₂ a la atmósfera en la Guayana venezolana están ocurriendo principalmente en el estado Bolívar. Pocos cambios parecen estar ocurriendo en los estados Amazonas y Delta Amacuro. Sin embargo, es necesario señalar que no existe un observatorio monitoreando activamente la región. El monitoreo constante realizado por parte de observadores independientes adquiere una gran relevancia a la luz del nuevo decreto presidencial para la explotación minera en el Arco Minero del Orinoco (Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 40855 del 24/02/2016. Decreto 2248).

I.4.2.3 Estado del conocimiento sobre los impactos del cambio climático en los ecosistemas guyaneses y su biodiversidad

Es reconocido que los sistemas montañosos son especialmente vulnerables al calentamiento global debido al papel fundamental de la temperatura como variable que podría afectar los parámetros climáticos y microclimáticos, influyendo a su vez sobre la distribución altitudinal de los organismos. Los sistemas alto-tepuyanos, poseen una alta proporción de endemismos y son muy peculiares por su

basamento geológico e historia evolutiva. Estos han generado preocupación, pues el calentamiento global podría constituir una amenaza para la biodiversidad presente en estos sistemas.

Un equipo de investigadores en España, liderado por Valentí Rull del Instituto Botánico de Barcelona, ha realizado investigaciones relacionadas con el calentamiento global en los ecosistemas alto-tepuyanos ubicados por encima de los 1500 m s.n.m, conocidos como las tierras altas de la Guayana (“Guayana *Highlands*”) o Pantepui. La provincia pantepuyana es compartida con los países vecinos de Brasil, Guyana y Colombia. Sin embargo, la gran mayoría de su extensión se encuentra en Venezuela. El proyecto contó con dos fases: la fase teórica, donde se realizaron estudios de simulación de los efectos del aumento de la temperatura sobre la flora pantepuyana, y la fase práctica, donde se estudió la flora y vegetación del Roraima-tepui, en el marco del calentamiento global (ambas fases resumidas en Rull & Vegas-Vilarrúbia, 2017). Como corolario del proyecto, también se estudió el posible efecto del aumento del nivel del mar sobre el Delta del Río Orinoco. En los inicios de la fase teórica, se trabajó con una base de datos de géneros endémicos del Pantepui, junto con sus especies y su rango altitudinal de distribución, a la que se le realizó un análisis de desplazamiento de rango altitudinal (DRA) simple (Rull *et al.*, 2005; Rull & Vegas-Vilarrúbia, 2006).

El análisis DRA consiste en calcular la diferencia de temperatura entre la altitud mínima y máxima del rango altitudinal de distribución para cada género y especie, teniendo como base el gradiente alto térmico de $-0,6^{\circ}\text{C}$ por cada 100 m. Al comparar este cambio con el aumento de temperatura de $2-4^{\circ}\text{C}$ proyectada por el IPCC (2014) para el 2100, aquellas especies cuya diferencia de temperatura sea menor a $2-4^{\circ}\text{C}$ podrían perder potencialmente su hábitat altitudinal poniendo en peligro su existencia. El resultado mostró que el 8-33% de las especies podían estar en riesgo.

En estos trabajos se mencionaron las razones por las cuales es importante el estudio del calentamiento global en las tierras altas de la Guayana, como el alto endemismo de su flora, donde las posibles pérdidas de estas especies no sólo tendrían consecuencias locales, sino que terminaría afectando la biodiversidad global. Además, el tener cimas relativamente planas, les confiere una particularidad entre los ecosistemas montañosos, ya que las especies en peligro no podrían desplazarse hacia mayores altitudes.

En la última etapa de la fase teórica del proyecto, se elaboró una base de datos de las más de 2.300 especies pantepuyanas, junto con su distribución altitudinal, donde además del análisis DRA, se les aplicó también el análisis RSA o Relación Especie-Área, concluyendo que el 80% de las especies se encontraban en riesgo de extinción, y se esperaba una reducción de 70–90% en este tipo de hábitat altotepuyano (Nogué *et al.*, 2009; Rull *et al.*, 2009). Estos resultados coinciden con los obtenidos en los estudios de simulación de Rödder *et al.* (2010).

Finalmente, en Safont *et al.* (2011, 2012), se asignó a cada una de estas especies endémicas en peligro, un Índice de Impacto Ambiental (EII por sus siglas en inglés), y además se agruparon en orden cronológico aquellas especies que iban perdiendo su hábitat altitudinal, de acuerdo a las tres fases del cambio climático, según el 4to. Reporte del IPCC (2007). De esta manera, aquellas especies con el mayor Índice de Impacto Ambiental y que experimentan pérdida de hábitat en la primera etapa del calentamiento (años 2011-2030), tenían la máxima prioridad de conservación. En este estudio se sugieren planes de conservación *ex situ* como la elaboración de bancos de semilla, colecciones de muestras vivas y su reubicación supervisada. Sin embargo, no se recomiendan planes alternativos *in situ*, precisamente por la pérdida del hábitat altitudinal como producto del aumento de temperatura en estas montañas tabulares.

A pesar de que no se recomiendan planes de conservación *in situ*, el macizo del Chimantá y otros tepuyes orientales asociados, parecen ser buenos candidatos para este tipo de planes de conservación, ya que se estima que aproximadamente la mitad de los hábitats pantepuyananos que persistirían para el 2100, pertenecen a estos sistemas montañosos (Vegas-Vilarrúbia *et al.*, 2012). En la etapa inicial del proyecto GLORIA^{1.4.4}, cuando se estaban evaluando los posibles lugares para la instalación de parcelas permanentes en Venezuela, Chimantá fue mencionado como uno de los candidatos dentro de los sistemas montañosos de la Guayana venezolana; los resultados obtenidos por Vegas-Vilarrúbia *et al.* (2012) sería otra justificación más para considerar al Chimantá como lugar ideal para instalar parcelas permanentes, sin tomar en cuenta, por supuesto, el factor logístico. En la fase práctica del proyecto, se realizaron salidas de campo a la cima del Roraima-tepui para la elaboración del inventario actualizado de su flora y estudio de su vegetación. El objetivo era contar con información base a partir de la cual se podrían realizar estudios de calentamiento global, e.g. estudios comparativos de la flora en diferentes períodos del tiempo (Safont *et al.*, 2014; 2016).

A pesar de que no se obtuvieron datos empíricos relacionados directamente con el calentamiento, quedó claro que el hecho de ser uno de los tepuyes mejor colectados no implica que su flora esté totalmente conocida y actualizada, ya que se incrementó en un 25% el listado de especies reportadas, incluyendo una docena de especies exóticas con potencial invasor, y al menos una especie nueva para la ciencia. Definitivamente, este es un aspecto a tomar en cuenta al momento de realizar estudios florísticos relacionados con el calentamiento global.

Adicionalmente, también se llamó la atención sobre los efectos del cambio climático en las tierras bajas de la Guayana, específicamente el delta del Río Orinoco. Este ecosistema megadeltaico que se encuentra a 1 m s.n.m., podría desaparecer debido al aumento del nivel del mar que se estima sería de

^{1.4.4} "GLObal Robotic-telescopes Intelligent Array". GLORIA es la primera red de telescopios robóticos del mundo de acceso libre ([http:// www.euro-vo.org](http://www.euro-vo.org)).

1 m para finales de siglo (Vegas-Vilarrúbia *et al.*, 2015; 2016), poniendo en riesgo, entre otros, a las personas que viven en estas zonas, notablemente los indígenas Warao. Los autores, sin embargo, advierten que, dado las características inherentes a los ecosistemas deltaicos, la continua acumulación de sedimentos alóctonos y el crecimiento vegetacional en su periferia, podría ir elevando el nivel del suelo acorde con la velocidad de aumento del nivel del agua.

I.4.2.4 Papel del fuego en los ET guayaneses

El fuego es uno de los agentes perturbadores más importantes en los ET a escala mundial y es ampliamente utilizado por los seres humanos para manejar y transformar la tierra con muchos propósitos (deforestación, pastoreo, establecimiento de cultivos, control de malezas, entre otros), especialmente en ecosistemas tropicales y subtropicales.

El fuego en la naturaleza es un proceso de combustión de biomasa en presencia de oxígeno y una fuente de ignición, con la consecuente emisión de carbono a la atmósfera, liberación de calor y agua. Se denomina incendio, al proceso de combustión natural de la vegetación que ocurre sin control, mientras que la quema es la ocurrencia del fuego bajo condiciones de control humano.

Los incendios de vegetación han existido desde poco después de la aparición de la misma en los sistemas terrestres, hace 420 millones (Bowman *et al.*, 2009; Moritz *et al.*, 2014) y son incluso una perturbación necesaria en muchos ecosistemas para su mantenimiento y persistencia (tales como las sabanas tropicales y arbustales mediterráneos). El fuego ocurre a diferentes frecuencias e intensidades, constituyendo diferentes regímenes de fuego, de acuerdo también al tipo de combustible, estacionalidad, comportamiento, patrones espaciales e impactos en la vegetación. Así, existe una estrecha correlación entre las formaciones vegetales y su distribución y los regímenes de fuego, los cuales determinan los patrones de biodiversidad y de producción de biomasa, distribución de la vegetación, y el riesgo de ocurrencia del fuego.

Los cambios de vegetación ocurren cuando los regímenes de fuego son alterados sustancialmente con respecto a un patrón histórico, debido principalmente a cambios en los patrones de uso de la tierra y manejo de los ecosistemas (tala, pastoreo, agricultura y otros que producen cambios en la estructura de la vegetación y características del material combustible), o debido al cambio climático. Así, por ejemplo, se ha reportado la conversión abrupta de bosques húmedos tropicales amazónicos no inflamables a comunidades de plantas altamente inflamables, a través de la quema persistente de origen antrópico, y la introducción de material combustible fino por la invasión de especies de gramíneas africanas.

Asimismo, las condiciones climáticas representan un factor fundamental para la propagación del fuego (particularmente la ocurrencia y duración de extrema sequía, así como el viento y la temperatura, entre otros). La emisión de GEI producto de la combustión de biomasa, tiene a su vez una retroalimentación positiva importante sobre el sistema climático y sus futuros escenarios. Así, se estima que durante el período 2001-2010, los incendios de vegetación emitieron, a nivel mundial, un promedio anual de 2,5 Pg C a la atmósfera, equivalente al 30% de las emisiones anuales antrópicas, producto de la combustión de combustibles fósiles durante el período 2004-2013. Asimismo, de acuerdo con el IPCC (2007) estas emisiones contribuyeron hasta con el 19% del incremento total del forzamiento radiativo desde la época preindustrial.

Las zonas de mayor ocurrencia del fuego en el mundo son las zonas tropicales. Esto es importante de señalar, porque los trópicos cubren un tercio (33,7%) de la superficie terrestre del planeta, contienen el 40% de todos los bosques, más del 35% de la población humana, y la gran mayoría de todas las especies vegetales y animales del mundo. Entre 1997 y 2009, la ocurrencia de fuegos en las sabanas tropicales (incluyendo los pastizales, sabanas abiertas y arboladas) representó el 60% del total de las emisiones mundiales debido al fuego. Estos incendios también representaron el 36% de las emisiones anuales de metano (CH_4) y 58% del óxido nitroso (N_2O) procedentes de incendios ocurridos alrededor del mundo.

Estos mismos estudios muestran que alrededor de la mitad de las emisiones mundiales de carbono en áreas de sabanas, provienen de Africa, 15 y 27% provienen de América del Sur, mientras que Australia contribuye con menos del 10% (Schultz *et al.*, 2008; van der Werf *et al.*, 2010). Si se considera el total de las emisiones de carbono debido al fuego que no son compensadas por el rebrote de la vegetación a escalas decenales, entonces América del Sur tuvo para ese período (1997-2009) la contribución más importante, con un 37% del total de emisiones en todo el planeta debido al fuego. Estas emisiones estuvieron asociadas a sistemas de bosques tropicales húmedos de la Amazonia brasileña que, después de la quema, fueron utilizados para plantaciones de pasto o soja, lo que impidió la recuperación de la vegetación después del fuego (van der Werf *et al.*, 2010).

I.4.2.5 Detección de incendios en la Guayana venezolana

El inventario de los incendios forestales en Venezuela se basa en reportes realizados por las instituciones responsables del control, combate y extinción de los incendios forestales ocurridos en el territorio nacional. En cada una de las entidades federales, el seguimiento y cuantificación de los mismos se realiza mediante técnicas rudimentarias de observación directa en campo, durante o después de la ocurrencia de los eventos, una vez que se ha extinguido el fuego, estimando visualmente la superficie y el tipo de vegetación afectada. En ciertos eventos, las estimaciones del área afectada por el fuego

también son obtenidas con el uso de Sistemas de Posicionamiento Global (GPS por sus siglas en inglés). Sin embargo, el número y extensión de la superficie afectada no ha sido validada hasta el presente con técnicas o procedimientos estadísticos adecuados, a fin de establecer la precisión y confiabilidad de la información levantada.

La información obtenida en campo acerca de las características de los eventos ocurridos se registra en planillas diseñadas para tal finalidad, y es posteriormente tabulada y enviada al órgano central responsable en materia ambiental, el cual es el encargado de recopilarla y, finalmente, generar reportes para cada entidad federal y a escala nacional. Sin embargo, para fortalecer estas acciones, es necesario contar con registros de sensores a bordo de satélites de observación de la Tierra, que permitirían cuantificar con mayor precisión y continuidad la ocurrencia del fuego en el territorio nacional (Rivera-Lombardi *et al.*, 2011).

De esta manera, la integración de varias técnicas y procedimientos tecnológicos ha permitido definir fuentes de información específica para la evaluación y monitoreo de incendios forestales, como es el caso del programa de detección de focos de calor del Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales del Brasil (INPE, 2016), mediante el uso de técnicas de percepción remota, a partir de imágenes del satélite MODIS.

En la [tabla I.4.11](#), se presenta una estimación de las superficies afectadas por el fuego en la región de la Guayana venezolana, a partir de los focos de calor, indicadores de posibles fuegos activos, obtenidos por los satélites NOAA-12 y el MODIS/Aqua, donde cada foco de calor observado representa una superficie de 1 km². Según Bilbao *et al.* (2015), los focos de calor detectados por estos satélites y los reportes oficiales de eventos ocurridos en Venezuela durante el período 2000-2014 presentaron una alta correlación (70%). Los datos muestran mayor ocurrencia de incendios forestales en el estado Bolívar que en el estado Amazonas, entre 2 y 6 veces mayor, dependiendo del año de ocurrencia, presentando el estado Delta Amacuro sólo el 10% del total de incendios. La mayor incidencia de incendios forestales observada en los años 2005, 2007, 2010 y 2016 se relaciona con los años de ocurrencia de eventos El Niño - Oscilación del Sur (ENSO); así como con la presencia de períodos de sequía que se han extendido por varios años, como por ejemplo entre los años 2009-2010 y 2013-2016 (INAMEH, 2016).

Como aspecto referencial, es importante mencionar que seis de los doce países de América del Sur tienen incendios forestales considerados con una incidencia de fuego "Muy alta" o "Alta" (con un punto caliente o foco de calor detectado por año por cada 75 km² o menos), en los que se incluye Venezuela (White, 2017).

Tabla I.4.11 Focos de incendios en las tres entidades federales de la Guayana venezolana de acuerdo al sensor MODIS.

AÑO	Satélite de referencia (*NOAA-12-Nocturno; MODIS/Aqua-UMD-tarde)		
	Bolívar	Amazonas	Delta Amacuro
2005	2730*	718*	158*
2006	2348*	487*	159*
2007	2661*	1281*	203*
2008	1869	625	52
2009	2441	401	138
2010	4574	1330	684
2011	1790	431	44
2012	1898	402	70
2013	3085	1067	230
2014	2501	927	145
2015	2301	903	117
2016	2879	1305	399
Total	23338	7391	1879

Superficie afectada en km²
 2007; 2010 y 2016 años Niños
 2009-2010 y 2013-2014 período seco extendido en Venezuela

Fuente: INPE, 2016.

I.4.2.6 Cuenca alta del Río Caroní

La cuenca alta del Río Caroní (24.507 km², 26,6% de toda la cuenca) está localizada en la zona central del Escudo Guayanés, en el estado Bolívar, que comprende el sector suroriental del país. El sector está definido por una abundante red de drenaje, comprendido entre el nacimiento del Río Caroní y su confluencia con el Río Apreme, donde el Río Caroní cambia de dirección hacia el norte, en la región denominada Gran Sabana. Esta región comprende una altiplanicie que se extiende norte a sur entre los 1.500 m s.n.m y los 800 m s.n.m.; es de alta pluviosidad (2.500-4.000 mm/año). Si bien la vegetación dominante son los bosques húmedos siempreverdes (53%), esta región posee una gran extensión de sabanas (33%), formando grandes mosaicos de vegetación (CORPOELEC-EDELCA, 2008; Delgado *et al.*, 2009). Gran parte de la cuenca se encuentra comprendida en el Parque Nacional Canaima, que fue declarado patrimonio de la Humanidad en 1991, por su valor paisajístico, biológico, geológico, fisiográfico, y cultural, por la presencia de sus habitantes naturales pertenecientes al pueblo Pemón (de la familia Caribe). Esta zona también tiene un importante valor económico y estratégico, ya que el Río Caroní provee alrededor del 70% de la energía eléctrica de todo el país (CORPOELEC-EDELCA, 2008); es también una zona rica en minerales metálicos y no metálicos, y de importancia turística.

En vista de lo anterior, la compañía hidroeléctrica CORPOELEC-EDELCA, ha sido de gran influencia en la región, en aspectos relacionados con el manejo y conservación del ambiente, especialmente en la cuenca alta del Río Caroní, en lo referente a garantizar el recurso agua y abastecer de energía hidroeléctrica al país. Dada la alta ocurrencia de incendios en la región, el fuego ha sido motivo de preocupación por parte de académicos, administradores del parque y la opinión pública en general, debido a los impactos de extrema severidad adjudicados a los incendios, entre ellos: intensos procesos de sabanización, pérdida de la capacidad de amortiguación para resistir los fenómenos climáticos extremos, degradación del suelo, cambios en el balance de agua, degradación de los paisajes que atraen a los turistas, aumento de la carga de sedimentos de los cursos de agua, alteración de los ciclos biogeoquímicos y pérdida de la biodiversidad. Debido a la importancia estratégica tanto política como económica de esta región, este tipo de amenazas ha constituido una gran preocupación para las instituciones de carácter local, regional, nacional o supranacional destinadas a la conservación (Bilbao *et al.*, 2009; 2010).

CORPOELEC-EDELCA (2008) hizo un estudio del nivel de riesgo del fuego en toda la cuenca encontrando que en el Alto Caroní se observa la mayor superficie con potencial para la propagación de incendios (1.048.059 ha), seguido por el Bajo Caroní (822.874 ha), el Bajo Paragua (547.092 ha) y el Medio Caroní (459.501 ha) (Tabla I.4.12). Las causas de los incendios en el Alto y Medio Caroní han sido asociadas, de acuerdo a esta institución, con las actividades de la comunidad Pemón, quienes usan el fuego como un medio de comunicación entre las comunidades y la preparación de sus conucos.

Tabla I.4.12 Área afectada por los incendios o quema de la vegetación en la Cuenca del Caroní (ha).

Nivel de riesgo	Bajo Caroní	Medio Caroní	Alto Caroní	Alto Paragua	Bajo Paragua	Total	%
Muy Alto	630.569	397.965	496.599	114.063	373.255	2.012.451	30,72
Alto	285.541	61.536	440.907	-	140.895	928.879	14,18
Moderado	474.264	-	110.553	-	32.942	617.759	9,43
Total	822.874	459.501	1.048.059	114.063	547.092	2.991.589	45,67

Fuente: Corpoelec-EDELCA, 2008.

Como una iniciativa para controlar la alta ocurrencia del fuego, la compañía hidroeléctrica CVG-EDELCA (actualmente CORPOELEC-EDELCA), creó en 1981 un programa para detectar, combatir y prevenir fuegos en la cuenca del Caroní y del Parque Nacional Canaima (PNC). Este Programa se desarrolló a través de la Brigada de Ataque Inicial “Carlos Todd”, la cual enfocó los esfuerzos operativos y logísticos en el combate y detección de los incendios forestales en áreas prioritarias para la conservación de la cuenca del Caroní y de un sector importante del PNC.

Este programa se convirtió en uno de los de mayor trayectoria y organización en el combate de incendios a nivel nacional. Sin embargo, a pesar de la gran experticia y mística de sus brigadistas

I.4 (conformado por pobladores indígenas pemones), del enorme esfuerzo de supresión del fuego y la alta inversión económica que el programa ha representado para la compañía; la gran extensión del territorio, las dificultades de accesibilidad y el alto número de incendios, han impedido un control efectivo del fuego en la región (Gómez *et al.*, 2000; EDELCA, 2004; Millán *et al.*, 2013). Adicionalmente, el fuego es parte de las prácticas diarias y de la identidad cultural indígena de los Pemón, cumpliendo con funciones tanto prácticas como espirituales, entre las que se cuenta la de satisfacer sus necesidades básicas de alimentación, a través del establecimiento de conucos para la agricultura itinerante, la cacería y pesca, actividades que no serían posible desarrollar bajo ninguna otra estrategia (Rodríguez 2004; 2007; Bilbao *et al.*, 2009).

Con el sistema de detección del Programa, se logró desarrollar una base de datos con registros de la ocurrencia de eventos de fuego en la cuenca alta del Caroní, la extensión aproximada, el tipo de vegetación afectada, las causas y si los mismos fueron combatidos. Los resultados del programa (publicados en Gómez *et al.* 2000; Ablan *et al.*, 2005) indican que:

- Ocurren anualmente entre 1.000 y 3.000 incendios forestales.
- El 70% de los incendios forestales se inician en áreas de sabana y por lo general alcanzan las márgenes de los bosques de galería y las de tierra firme.
- Anualmente se genera una superficie quemada total de, aproximadamente, 5.700-7.500 ha.
- La ocurrencia de incendios forestales se concentra durante el período seco, entre diciembre y abril-mayo, aunque los fuegos pueden ocurrir en cualquier época del año.
- El programa sólo logra combatir y controlar el 13% de todos los incendios totales detectados.

La alta ocurrencia del fuego y el efecto negativo que éste produce en los ecosistemas, sugieren que los administradores del Parque Nacional Canaima necesitan cambiar su foco desde la supresión del fuego hacia un plan de manejo que involucre diferentes percepciones del fuego para la formulación de políticas ambientales participativas, sustentables e interculturales.

Tomando en cuenta estas consideraciones, se establece inicialmente en 1999 bajo el “*Proyecto FONACIT IAB*”^{I.4.5}, luego en el 2007 con el “*Proyecto Riesgo*”^{I.4.6} y posteriormente en el 2012 con el

^{I.4.5} Proyecto IAB (Interacciones atmosféricas - Biosfera de la 'Gran Sabana').

^{I.4.6} Proyecto RIESGO (Factores de riesgo en la reducción de hábitats en el Parque Nacional Canaima: vulnerabilidad y herramientas para el desarrollo sostenible).

“Proyecto Apök”^{I.4.7} un experimento de fuego a largo plazo, en parcelas permanentes (5°41’08.8”N - 61°31’39.9”O), realizado al norte de la Gran Sabana (en una de las zonas de mayor incidencia del fuego), en un gradiente sabana-bosque de galería característico de la región. El experimento consistió en comparar el comportamiento del fuego y sus efectos en la vegetación y suelo en 31 quemas realizadas en 21 parcelas de 0,5 hectáreas, distribuidas de acuerdo a un diseño de bloques al azar, y con 3 réplicas según los tratamientos de quemas en diferentes épocas de la estación seca y frecuencia anual (quemadas en parcelas de 4 a 7 años de exclusión del fuego y quemadas nuevamente después de 2 a 4 años desde la primera quema experimental), con áreas de control sin quemas. Los resultados muestran que el fuego puede ocurrir en un amplio rango de condiciones climáticas y de características del material combustible.

Contrariamente a lo que se creía, las quemas son altamente variables en cuanto a su intensidad y comportamiento, y en general presentan bajas eficiencias de combustión. La velocidad del viento, la acumulación de material muerto, y la biomasa de hojas y tallos del componente herbáceo, constituyen los principales factores que contribuyen al comportamiento del fuego. Debido a la variabilidad en el comportamiento del fuego en la Gran Sabana, una alta diversidad de condiciones ambientales es generada con respecto a la acumulación de biomasa (176–1.271 g m⁻²), relaciones de material vivo/muerto (0,36–3,60) y biodiversidad (abundancia y composición de especies). Así, debido a la baja recuperación de la biomasa después del fuego, el material combustible no sustenta quemadas anuales, las cuales son sólo posibles cada 3 o 4 años, y raramente cada 2 años. Cuando las sabanas son dejadas más de cuatro años desde la última quema y alcanzan una cantidad de biomasa >600 g m⁻² y una relación verde/seco >1, ellas son más vulnerables y expuestas a un mayor riesgo de ocurrencia de fuego.

Estos resultados sugieren que la vegetación de sabana en el PNC permite la creación de un mosaico de parches con distintas historias de fuego a un mismo tiempo, que pueden ser usados como cortafuegos reduciendo el riesgo de grandes incendios, especialmente en las zonas más vulnerables y de alta diversidad como son las zonas de borde sabana-bosque (ecotono), que es además la vía de penetración del fuego hacia el bosque. Esta técnica es referida como la quema de parches en mosaico (PMB en su acrónimo en inglés). Esto representa uno de los resultados más importantes, debido a que esta técnica imita las estrategias tradicionales milenarias de manejo del fuego por las comunidades Pemón a través de la quema cooperativa de sabanas. Esta técnica está basada en la quema repetitiva de pequeñas áreas de sabanas (en diferentes estados de sucesión), las cuales actúan como

^{I.4.7} Proyecto APÖK (Bases ecológicas y conocimiento tradicional Pemón del fuego: soluciones locales para problemas globales del cambio climático).

cortafuegos naturales cuando el fuego alcanza el borde de una quema anterior, evitando incendios catastróficos en las zonas más vulnerables de ecotonos sabana-bosque y bosques.

Un ejemplo a considerar es el de Australia, país que viene desarrollando desde hace varios años un enfoque de manejo integrado del fuego (MIF) en áreas de sabanas tropicales, en el cual se vincula el conocimiento indígena con el científico y las capacidades institucionales de gestores ambientales. Esta experiencia es significativa porque demuestra el papel que juega el fuego en el cambio climático. Como resultado, la adaptación de las prácticas indígenas del fuego en esta nueva gestión del fuego ha reducido los incendios forestales en la sabana del norte de Australia a la mitad, disminuyendo las emisiones globales de gases de efecto invernadero en más de 150 mtCO₂e año⁻¹, con una importante mitigación adicional de emisiones a través del secuestro de carbono en el largo plazo (ver <http://tfm.unu.edu>). Este tipo de enfoque está siendo extendidos a otros países del mundo como Namibia y Brasil (Russell-Smith *et al.* 2013, Eloy *et al.*, 2017).

En Venezuela, también se han consolidado iniciativas en la que académicos, comunidades indígenas e instituciones gubernamentales convergen en la idea de "Manejo Intercultural y Participativo del Fuego", para reforzar la integración del conocimiento tradicional indígena del fuego, el científico y las capacidades técnicas de las instituciones para la implementación de una nueva gestión en el PNC, en la que además del conocimiento, se cuente con una participación efectiva de las comunidades indígenas (Millán *et al.*, 2013, Bilbao *et al.* 2017, Eloy *et al.*, 2017).

Además de esta iniciativa, en enero de 2017, se celebró por primera vez, el evento: "1 Taller de trabajo de diseño de planes de acción en cambio climático: Integrando las perspectivas desde lo local indígena con la academia y las instituciones en el Parque Nacional Canaima". Utilizando el análisis de escenarios participativos, se exploraron áreas temáticas de soberanía alimentaria, biodiversidad, manejo de incendios, gestión y conservación del agua, y vulnerabilidad social y actividades socioproductivas, bajo cuatro diferentes escenarios de cambio climático titulados "parque de conservación", "parque extractivo", "parque receptivo" y "parque fantasma". Estos escenarios utilizaron la estacionalidad e intensidad seca y la filosofía de conservación, como las principales fuerzas impulsoras en el futuro, y describieron el PNC en 30 años. El encuentro reunió a más de 80 representantes indígenas Pemón, instituciones gubernamentales, y académicos pertenecientes a más de 42 organizaciones de Venezuela durante tres días. A través de pequeños grupos de discusión, dibujos participativos y reflexiones grupales, los participantes consideraron cómo las políticas nacionales existentes podrían respaldar estrategias resilientes, y áreas en las que se deben desarrollar planes de acción integrados para la mitigación y adaptación al cambio climático en el Parque Nacional Canaima (Bilbao *et al.*, 2017).

En conclusión, el conocimiento académico se encuentra en concordancia con el conocimiento tradicional Pemón, y abre las posibilidades de un nuevo esquema de manejo del fuego en el Parque Nacional Canaima; la articulación del conocimiento tradicional y científico constituye una estrategia prometedora para la formulación de políticas ambientales para la gestión eficaz del fuego en el parque, que podría ser más exitosa para la conservación de los bosques y la mitigación al cambio climático, así como para la conservación de la integridad cultural del pueblo Pemón, que el enfoque de supresión del fuego. Esto constituye uno de los principales retos confrontados por los proyectos Riesgo y Apök, en su intento por articular las diferentes formas de conocimiento (técnico, científico e indígena) con el objetivo de definir acciones a largo plazo requeridas para el uso sostenido de los recursos, respetando las leyes y el marco normativo del Parque Nacional Canaima, y la soberanía y derechos de sus pobladores locales: los Pemón.

I.4.2.7 Paleoecología y paleoclimatología holocena en la Guayana venezolana: implicaciones para la evaluación de la vulnerabilidad de los ET ante el cambio climático y el fuego

La Gran Sabana es la porción del país más estudiada en términos paleoecológicos. Entre los años 90 del siglo XX y la actualidad, se han realizado varios estudios que abarcan temporalmente los últimos 10.000 (12.000) años AP, o lo que es lo mismo, todo el período Holoceno. Espacialmente, se ha abarcado tanto la porción sur como el extremo norte del *plateau* de la Gran Sabana, y también se han realizado algunos trabajos en Pantepui. Todas las reconstrucciones paleoecológicas disponibles se realizaron utilizando el polen y las esporas en registros sedimentarios. Más tarde se incorporó el análisis de partículas de carbón como indicadores de la ocurrencia de fuegos pasados. Los trabajos pioneros resumidos por Rull (1991, 1999, 2007), estuvieron restringidos al sur de la Gran Sabana, en turberas de sistemas ribereños (morichales, como en Urué y Quebrada Arapán) y bordes herbazal-bosque (i.e. Mapaurí). Estos fueron sucedidos por análisis de otras turberas y pequeñas lagunas en la porción sur y bordes herbazal-bosque (i.e. cuenca del Río Uairén y El Paují) (Montoya *et al.*, 2011a, b y c). En el norte de la región se trabajaron pastizales inundables (i.e. Parupa), bordes sabana-bosque (i.e. Ariwe y Quebrada Kowana), y algunos perfiles de suelo en el centro y sur de la región (i.e. El Oso y Waramasén) (Leal, 2010; Leal *et al.*, 2013 y Leal *et al.*, 2016).

Los trabajos citados, arrojan algunos resultados muy importantes de tener en cuenta bajo los escenarios futuros de cambio climático. En primer lugar, se demuestra que, a pesar de que la Gran Sabana posee en términos generales un clima húmedo con una estacionalidad de las lluvias poco pronunciada, han ocurrido períodos más secos/estacionales que el presente en varios momentos del Holoceno. En algunos lugares, esto ha conllevado a regímenes de fuego más frecuentes. El fuego ha

estado presente en la región a lo largo de todo el Holoceno, y su ocurrencia desde el inicio de este período, se ha tomado como evidencia de la ocupación humana temprana de la región.

En la mayoría de los sitios estudiados, se observa el empobrecimiento de las comunidades ribereñas durante el Holoceno en términos florísticos, y se infiere la retracción de la vegetación leñosa y expansión de la sabana y del morichal. Sorprende que, en los últimos 2.000 años, bajo un clima que ha sido preponderantemente húmedo, no se observe la expansión del bosque y/o de los elementos leñosos en las sabanas, sino en unas pocas localidades (por ejemplo, en Waramasén). En la región de los llanos, por el contrario, la vegetación boscosa se ha expandido para el mismo período (Behling y Hooghiemstra, 2001), excepto para localidades con una fuerte presión antrópica (Sánchez *et al.*, en prensa). La retracción lenta pero sostenida de la formación boscosa en la Gran Sabana se explica por el incremento del impacto humano en los últimos dos milenios, especialmente por el uso sostenido del fuego en áreas de sabana por parte de las comunidades prehistóricas y su retroalimentación con sequías climáticas, de modo que estas prácticas han contribuido a mantener la sabana abierta. El fuego parece propagarse desde la sabana hacia los bordes sabana-bosque cuando el clima lo favorece, degradando lentamente estos bordes, y generando un efecto acumulado que afecta la capacidad de recuperación de estos sistemas en el largo plazo. Estudios sobre la ecología actual de estos bordes sabana-bosque también soportan estos resultados (Hernández y Folster, 1994).

De este modo, parece ser que el monitoreo presente y futuro de las variables hidrometeorológicas en la región, aunado al establecimiento de prácticas de quemas controladas, son de vital importancia para establecer los escenarios de emisiones futuras de GEI en la Gran Sabana. Algunos de los modelos climáticos propuestos para Venezuela, predicen un aumento de las anomalías de lluvias para el sur del país en las próximas décadas (Marteló, 2004). Es posible que el plateau de la Gran Sabana, por su carácter más seco y estacional (en comparación con el resto del Parque Nacional Canaima), sea de hecho más vulnerable a la ocurrencia de eventos extremos y al avance de un potencial proceso de sabanización.

I.4.2.8 Consideraciones finales y conclusiones

- La Región Guayana es una de las más importantes en términos del cambio climático, pues posee más del 80% de la masa forestal contenida en los ET de Venezuela. Esta masa forestal contiene altas densidades de carbono en la biomasa en pie (aérea y subterránea), en el orden de los 100-200 t C ha⁻¹ de acuerdo con los modelos globales revisados en este trabajo. Estos valores se han corroborado con algunas estimaciones de campo (Tabla I.4.10). También existen comunidades de menor extensión, como las sabanas, bosques ribereños, sabanas con palmas y herbazales, que podrían contribuir a engrosar los inventarios de carbono en los ET guyaneses, pero que se

conocen poco en términos de sus inventarios. Los ET guayaneses también poseen grandes reservas de COS, especialmente en los sistemas ribereños del Delta Amacuro, y los bosques submesotérmicos, mesotérmicos y macrotérmicos de Bolívar y Amazonas.

- Existen limitaciones importantes en cuanto al conocimiento sobre la extensión de los ET guayaneses. Estas están relacionadas con la falta de actualización de la base cartográfica a diferentes escalas, desde la escala país (sub-continental) hasta la escala local, pasando por las escalas intermedias (de paisaje). La gran variabilidad de los ET constituye un reto para trabajar a escalas más finas, pues existen intrincados mosaicos de vegetación en la región que es una de las más diversas en Venezuela. Este aspecto debe ser abordado con urgencia, pues no es posible modelar la densidad de carbono en los diferentes compartimientos de los ET guayaneses con un grado de confianza significativo, sin conocer la extensión de los diferentes sistemas con un grado adecuado de precisión.
- Los ET de la Guayana venezolana posee grados de intervención humana bajos y una alta proporción de ABRAE, que podrían contribuir a un manejo sostenible para la reducción de las emisiones hacia la atmósfera (por deforestación y cambios de uso de la tierra), potenciando la remoción de carbono desde la atmósfera y su fijación en la biomasa de los ET y los suelos. Sin embargo, existen grandes vacíos de conocimiento, que vienen dados en primer término porque grandes áreas de la Guayana aún no están exploradas, y se conoce poco sobre la composición y estructura comunitaria de los sistemas. En el mismo sentido, existen pocos trabajos que hayan cuantificado los inventarios de carbono y menos aquellos que se hayan dedicado al estudio de los flujos atmósfera-biósfera.
- Es poco lo que se conoce sobre la vasta diversidad de la Guayana venezolana en términos de la distribución espacial de las especies, sus rangos de tolerancia, su fisiología y aspectos funcionales en general, y/o sobre la diversidad genética y su dinámica espacio-temporal. Por lo tanto, existe un alto grado de incertidumbre sobre el potencial efecto del cambio climático sobre las comunidades biológicas en la Guayana. Hay, sin embargo, ecosistemas terrestres en la Guayana venezolana que parecen ser altamente sensibles al cambio climático, especialmente las comunidades de alta montaña o bajo un clima microtérmino, como la flora alto-tepuyana. Algunos estudios resumidos aquí indican que una alta proporción de las especies de plantas vasculares de Pantepui serían desplazadas de sus rangos actuales de distribución altitudinal hacia el 2100 a consecuencia del cambio climático. Estos estudios indican que muchas especies no tendrían hacia donde migrar, dado las características peculiares de los tepuyes y la altura de sus cimas.

- Algunos estudios también sugieren un efecto adverso de las sequías sobre los ET guayaneses. De hecho, se ha reportado la mortandad masiva de árboles en algunos lugares, como en Urimán (Dezseo *et al.*, 1997) y la ocurrencia de incendios de gran magnitud ocurridos durante sequías históricas en la Gran Sabana (Rodríguez *et al.*, 2004; Hernández, 2008). Aunque es poco lo que se ha trabajado en estos temas, existe al menos la sospecha de que el aumento en la frecuencia de las anomalías de las lluvias afectaría a los ecosistemas boscosos guayaneses, especialmente a aquellos que se encuentran altamente fragmentados (i.e. sistemas forestales en la Gran Sabana).
- Algunos resultados empíricos brindados por los estudios paleoecológicos disponibles para la Gran Sabana, apuntan a que existe un proceso de degradación de la vegetación boscosa (principalmente de los bosques ribereños), que está ocurriendo en el largo plazo (más aceleradamente en los últimos 2000 años), como producto de la retroalimentación positiva entre las sequías y el fuego. Se sugiere entonces, que muchos de los sistemas boscosos ribereños de la Gran Sabana observados en la actualidad, son el producto de procesos de fragmentación históricos. Estos aspectos se deben tomar en cuenta, en tanto algunos modelos han predicho el aumento de la frecuencia en la ocurrencia de años más secos que el promedio en la región guayanesa para las próximas décadas.

I.4.3 Los Llanos de Venezuela

I.4.3.1 Ubicación y características generales

Los Llanos del Orinoco constituyen la región fisiográfica con aproximadamente 532.000 km² (254.000 en Colombia y 278.000 en Venezuela), que se extiende desde el sur de la Serranía de La Macarena en el piedemonte andino colombiano, hasta las planicies cenagosas del Río Guarapiche en los estados Monagas y Delta Amacuro, colindando al sur con el Escudo Guayanés y al norte con la Cordillera de la Costa (Figura I.4.5). Las planicies que conforman la región de los llanos se originaron durante el Cuaternario, cuando el descenso del nivel del mar y el avance de los procesos orogénicos que se iniciaron en el Terciario, conllevaron a la actual configuración del curso del Río Orinoco, con las cabeceras de sus principales afluentes ubicadas por un lado en los Andes colombo-venezolanos y por el otro en la Serranía del Interior del Sistema Orográfico del Caribe (González de Juana *et al.* 1980; Schargel, 2015). La región se caracteriza por poseer bajas altitudes, no superiores a los 500 m s.n.m.

En años recientes han surgido publicaciones que resumen el conocimiento sobre los ecosistemas llaneros. Una de estas iniciativas es el “Catálogo Anotado e Ilustrado de la Flora Vasculare de los Llanos de Venezuela”, editado por Duno de Stefano *et al.* (2006) y “Tierras Llaneras”, editado por López-Falcón *et al.* (2015). Tomando estas fuentes, se pueden definir los llanos venezolanos por la gran complejidad de paisajes que contiene. Estos vienen dados tanto por la existencia de diversas litologías que conllevan

una gran heterogeneidad de los paisajes geomorfológicos y suelos, así como la presencia de gradientes regionales de precipitación y estacionalidad de las lluvias. La variedad de topografías y relieves y la compleja red hidrográfica conducen a importantes gradientes de disponibilidad y exceso/defecto de agua en el suelo, lo que produce un mosaico de comunidades vegetales, que van desde los bosques ribereños a las sabanas sobre suelos bien drenados (sabanas estacionales), pasando por las sabanas hiperestacionales y semiestacionales (Sarmiento, 1983), algunas de ellas con palmas. Los bosquetes o matas que se desarrollan en una matriz de sabana son también importantes. Existen bosques semidecíduos y decíduos en el piedemonte andino barinés y apureño, así como en el norte de los estados Guárico, Anzoátegui y en el estado Cojedes.

En términos generales, los llanos venezolanos se dividen en llanos orientales, centrales y occidentales. Los orientales ocupan los estados Monagas y Anzoátegui, y en ellos se presenta la Formación Mesa, que determina los relieves y la vegetación predominantes. Esta formación se extiende hasta los llanos centrales en el estado Guárico. En el estado Cojedes y noroccidente de Guárico, se presentan los llanos colinosos. Los llanos occidentales están comprendidos por Apure, Barinas y Portuguesa. El estado Apure y sur de Barinas constituyen los “llanos bajos”, donde se desarrollan grandes áreas de sabanas semiestacionales o esteros. Las sabanas del piedemonte andino en Barinas y Portuguesa son también unidades de paisaje distinguibles del resto de la región llanera, por la presencia de suelos menos ácidos y más ricos en nutrientes (cationes, fósforo), que contrastan con aquellos más pobres y ácidos de las sabanas semiestacionales e hiperestacionales, y aquellos característicos de las sabanas estacionales de la Formación Mesa.

Existe un abundante cuerpo de literatura sobre la fisiografía, clima, geología, geomorfología y ecología llaneras, que se remontan a los albores de la ecología en Venezuela a principios del siglo XX, y luego continúan en décadas subsiguientes con Guillermo Sarmiento, Maximina Monasterio, Ernesto Medina, Juan Silva, José San José y Rubén Montes, entre los más destacados y prolíficos. Gerardo Aymard ha hecho importantes aportes sobre la composición de los bosques llaneros, y Valois González sobre la de los morichales y vegetación ribereña. No es objetivo de esta sección hacer un acopio exhaustivo de esta literatura, sino dar una visión general sobre los aspectos que se conocen, y que se han recopilado en publicaciones recientes sobre los ecosistemas terrestres presentes en los Llanos de Venezuela, su papel en el ciclo regional y global del carbono y la potencial retroalimentación de los mismos con el cambio climático.

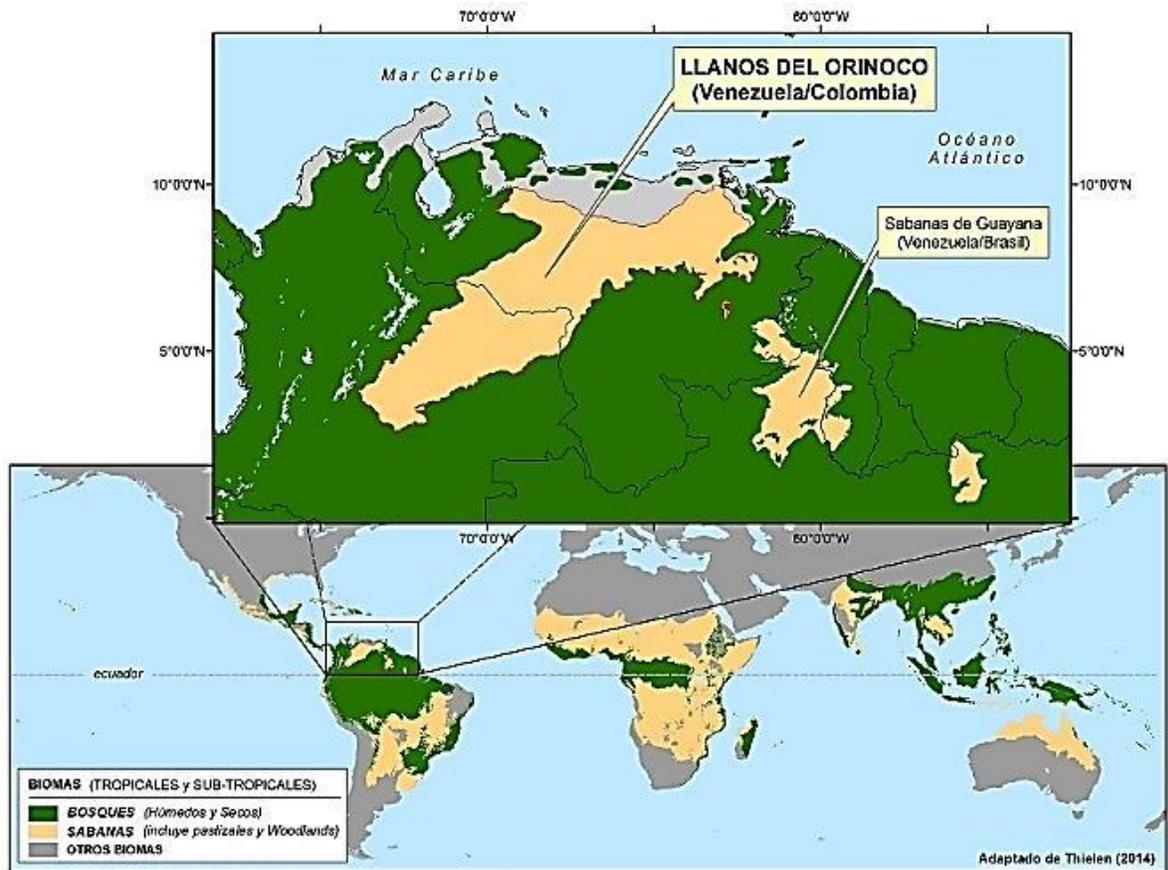


Figura I.4.5 Ubicación de los Llanos colombo-venezolanos. Figura F. Sánchez.

I.4.3.2 Estado del conocimiento sobre los patrones y dinámica de la cobertura de la tierra y sobre los inventarios de carbono en ecosistemas naturales

I.4.3.2 a) Patrones generales

La iniciativa de Oliveira-Miranda *et al.* (2010), ofrece una intercomparación en superficie de la cobertura de la vegetación y áreas intervenidas en los llanos, con base en los mapas elaborados en 1988 (Huber y Alarcón) y los mapas actuales desarrollados en dicha publicación (Huber y Oliveira-Miranda, 2010), estando estos resultados sujetos a los problemas metodológicos ya mencionados en la sección anterior sobre la Guayana Venezolana.

En la [tabla I.4.13](#) se presentan las estimaciones de los tipos de cobertura actuales en los Llanos de Venezuela, con base en Huber y Oliveira-Miranda (2010). El tipo de cobertura más extenso en la región de los llanos es la sabana abierta, que corresponde, en su mayor parte, a la sabana semiestacional (inundable) aunque también hay sabanas abiertas en el resto de la región llanera, especialmente en el tope de las mesas orientales. La mayor extensión de la sabana abierta se localiza en el estado Apure.

Tabla I.4.13 Tipos de vegetación presentes en los Llanos de Venezuela, superficie de cobertura y porcentaje de cobertura con respecto a todas las entidades federales llaneras.

Tipo de Vegetación	Entidad federal	Área (1988)	%	Área (2010)	%
		(km ²)		(km ²)	
Sabanas abiertas	Anzoátegui	9.384	13	1.530	3
	Apure	47.975	67	43.704	91
	Barinas	499	1	120	0
	Cojedes	0	0	0	0
	Guárico	10.484	15	1.082	2
	Monagas	3.213	4	1.455	3
	Portuguesa	0	0	0	0
		71.555	100	47.891	100
Bosques ribereños	Anzoátegui	8.904	16	12.747	24
	Apure	18.001	32	17.842	34
	Barinas	8.782	15	5.024	10
	Cojedes	2.281	4	1.222	2
	Guárico	12.022	21	10.839	21
	Monagas	1.498	3	2.189	4
	Portuguesa	5.273	9	2.423	5
		56.761	100	52.286	100
Sabanas arboladas	Anzoátegui	8.129	15	5.794	16
	Apure	900	2	879	2
	Barinas	9.533	18	56	0
	Cojedes	6.003	11	3.700	10
	Guárico	20.999	39	20.539	58
	Monagas	6.292	12	4.292	12
	Portuguesa	1.689	3	392	1
		53.545	100	35.652	100
Bosques deciduos	Anzoátegui	8.033	44	4.579	61
	Apure	0	0	0	0
	Barinas	35	0	0	0
	Cojedes	1.877	10	1.363	18
	Guárico	6.313	35	804	11
	Monagas	1.882	10	196	3
	Portuguesa	1	0	581	8
		18.141	100	7.523	100
Bosques semideciduos	Anzoátegui	1.068	7	1.162	14
	Apure	1.845	13	2.042	25
	Barinas	5.207	35	3.302	40
	Cojedes	189	1	174	2
	Guárico	3.117	21	385	5
	Monagas	1.171	8	11	0
	Portuguesa	2.122	14	1.124	14
		14.719	100	8.200	100
Bosques de palmas, de pantano o de pantano y palmas	Anzoátegui	0	0	0	0
	Apure	0	0	0	0
	Barinas	0	0	0	0
	Cojedes	0	0	0	0
	Guárico	0	0	0	0
	Monagas	1.874	100	1.192	100
	Portuguesa	0	0	0	0
		1.874	100	1.192	100

 Fuente: adaptada de Huber y Alarcón, 1988 y Oliveira-Miranda *et al.*, 2010.

Los bosques ribereños son el segundo tipo de cobertura con más superficie, siendo especialmente importantes en Apure y Guárico. Las sabanas arboladas, que corresponden a las sabanas estacionales, y aquellas hiperestacionales (con palma llanera) son el segundo tipo de cobertura más extenso, estando la mayor parte de ellas en Guárico, Anzoátegui y Monagas. Los bosques deciduos

son muy importantes en Anzoátegui. Los bosques semidecíduos son especialmente importantes en Barinas y Portuguesa, hacia el occidente, en el piedemonte andino, así como en Cojedes.

Los bosques de pantano con y sin palmas, y las sabanas con palmas de moriche (*Mauritia flexuosa*), poseen importantes superficies en el estado Monagas, aunque también se presentan parches de tamaño más modesto en Guárico, Anzoátegui y Apure. Las sabanas con la palma llanera (*Copernicia tectorum*) son parte de las sabanas arboladas en esta clasificación. Desde el punto de vista ecológico colocar ambos sistemas bajo una misma categoría parece poco adecuado, pues las sabanas estacionales y las sabanas con *Copernicia tectorum* son muy distintas, tanto en composición de especies como en sus características fisonómicas y funcionales.

En cuanto al tamaño de los reservorios de carbono contenidos en cada uno de los compartimientos de la biosfera terrestre y los suelos, se puede decir que en la región llanera se ha realizado un importante número de estudios, principalmente en las décadas de los 60, 70, y 80 del siglo pasado, dado el potencial agropecuario de la región. Sin embargo, la mayor parte de los estudios se llevaron a cabo en sabanas, quedando excluidos los otros componentes del paisaje.

Las sabanas mejor estudiadas de la región llanera son las sabanas estacionales, tal como lo señalan Chacón-Moreno *et al.* (2015). Estos autores ofrecen una revisión general sobre los estudios que han aportado datos cuantitativos acerca de la cantidad de biomasa y la productividad primaria neta (PPN) y descomposición en las sabanas llaneras. Se reporta un promedio de 4,5 t ha⁻¹ de la biomasa aérea en sabanas y una PPN de 15 t ha⁻¹ año⁻¹. Esto sólo considerando el estrato herbáceo, que ha sido el foco de la mayoría de los trabajos publicados. Sin embargo, el componente leñoso es muy importante, especialmente en las sabanas estacionales. En términos generales, los autores también acotan que la cantidad de biomasa aérea en pie es mayor en las sabanas semiestacionales que en la estacionales y que esto mismo se refleja en la PPN. Las sabanas hiperestacionales poseen valores intermedios de ambas variables. Otra consideración interesante contenida en esta revisión, es que se reportan pocos trabajos sobre la productividad subterránea (de raíces) para toda la región llanera, tomando en cuenta sólo el componente herbáceo aéreo de las comunidades estudiadas. De allí se infiere que la biomasa subterránea puede exceder en entre 1,5 y 4 veces, a la biomasa aérea, con promedios de 11 a 19 t ha⁻¹.

Por su parte López-Hernández (2015) realiza una comparación de la PPN aérea y subterránea en varias localidades de sabanas estacionales dominadas por *Trachypogon spicatus* en Calabozo, Cabruta, Dos Caminos, La Iguana (Guárico) y en Jusepín (Monagas), con base a los trabajos publicados por varios autores. La PPN aérea está entre 1,75 y 6,35 t ha⁻¹ y la subterránea entre 1,41 y 9,05 t ha⁻¹.

El trabajo de Grace *et al.* (2006) ofrece una comparación intercontinental de los inventarios de carbono en las sabanas tropicales y su PPN, indicando que las emisiones de carbono por el cambio de uso de la tierra en las sabanas, aunque reciben menos atención que la deforestación, podrían representar una fuente tan importante como la aportada por ésta. Para Venezuela estos autores presentan valores de cantidad de carbono en la biomasa aérea y subterránea de $20,4 \text{ t C ha}^{-1}$, y valores de PPN que oscilan entre $3,4$ y $7,0 \text{ t C ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, dependiendo de la densidad del componente leñoso presente. Estos datos provienen de una de las localidades más estudiadas en los Llanos del Orinoco, que es Calabozo (Edo. Guárico, en la Estación Biológica de los Llanos “Francisco Tamayo”). Se indica en esta contribución que, si las sabanas tropicales estuviesen protegidas del fuego y del pastoreo indiscriminado, tendrían un importante potencial de acumulación de carbono. Thielen *et al.* (2007 y 2008) y San José *et al.* (2009 y 2010) demostraron que, para las sabanas estacionales en Venezuela, el balance general es que las mismas tienden a ser sumideros de carbono, donde la magnitud de esta tendencia es sensible a la historia de uso o cambio de cobertura de la sabana.

En cuanto al carbono orgánico del suelo (COS) y su dinámica en la región de los llanos, Schargel (2015) ofrece una descripción de los suelos en sus diferentes unidades de paisaje, y presenta datos sobre las características físicoquímicas de los mismos, incluyendo los contenidos de materia orgánica en las diferentes unidades geomorfológicas en la región y a diferentes profundidades. La escala de este esfuerzo descriptivo es 1:4.000.000.

Para abordar una escala más fina, se pueden consultar los datos de algunos de los estudios publicados acerca de diversas localidades de los Llanos de Venezuela, en la base de datos mundial de suelos de la FAO (Harmonized World Database o HWSD, recuperado de: www.fao.org). Allí figuran algunas de las variables, incluyendo el COS, en algunas localidades de Guárico, Barinas, Cojedes, Apure y Anzoátegui, principalmente en áreas dominadas por sabanas estacionales y semiestacionales. Sin embargo, existen pocas iniciativas publicadas donde se realicen modelos a nivel regional, de la cantidad total de carbono contenida en el primer metro de suelo en las diferentes unidades de paisaje presentes en los llanos.

Existen, sin embargo, iniciativas globales que han modelado la densidad de carbono contenida en la COS y en la biomasa aérea a nivel global, con una grilla de $0,5^\circ$ de tamaño y con base en modelos contruidos a partir de la HWSD. En los mapas obtenidos por Jörn *et al.* (2014), la región llanera posee entre <25 y hasta 75 t C ha^{-1} contenidos en la biomasa, con un gradiente de aumento de la densidad de carbono desde el oriente hacia el occidente (piedemonte andino), y de norte a sur, con una mayor densidad de carbono en la biomasa en los llanos bajos de Apure. A su vez, los llanos orientales presentan una densidad de carbono inferior a 25 t C ha^{-1} , que es congruente con el desarrollo de sabanas estacionales que reciben los valores más bajos de precipitaciones medias anuales de toda la

región llanera, y donde el componente leñoso es más disperso y de menor estatura al observado en la porción central, centro-norte y noroccidental de los llanos. El contenido de carbono en el suelo hasta 1 m de profundidad va desde <25 hasta 150 t C ha⁻¹ y presenta un gradiente de aumento oriente-occidente y norte-sur, siendo más elevado en Barinas, Portuguesa, Cojedes y el norte de Guárico que en Apure. Los valores más bajos se registran en la porción oriental de los llanos.

Por su parte el trabajo de Köchy *et al.* (2015), con énfasis en los humedales del mundo, le otorgan en su modelo espacial, entre 20 y 100 t C ha⁻¹ a la COS en los Llanos de Venezuela, con los mismos gradientes descritos anteriormente. Se desprende del trabajo de Jörn *et al.* (2014) que entre el 50 y el 75% del carbono total contenido en los ecosistemas terrestres llaneros se encuentra en el suelo. En este sentido, la región llanera, dado su carácter macrotérmico y clima tipo *Aw*, presenta aceleradas tasas de descomposición de la materia orgánica, especialmente en las áreas dominadas por sabanas estacionales, que son las más utilizadas para fines agrícolas. Este hecho es muy importante en términos de la mitigación del cambio climático, porque siendo el suelo el principal reservorio de carbono orgánico en la región llanera, el manejo del mismo con fines productivos debería considerar la reducción de las emisiones por la descomposición del COS debido a los cambios en el uso de la tierra.

En cuanto a los bosques, si bien se han publicado varios trabajos que ofrecen una clasificación de los sistemas boscosos llaneros en función de su composición y de la geomorfología (como las iniciativas de Aymard *et al.*, 2006 y 2015), no existe un acopio publicado de datos sobre la biomasa en pie, necromasa y COS en los diferentes tipos de bosque llanero. Cuantificar estos inventarios es especialmente importante en los bosques ribereños, dada su gran extensión como conjunto en la región llanera.

Otras comunidades, que ocupan superficies más modestas, podrían ser también de importancia, como los morichales, por su potencial de acumular COS en los histosoles y por las emisiones de metano que favorecen la condición de anoxia que les caracteriza. Si bien existen publicaciones recientes que ofrecen abundantes detalles cualitativos sobre la fisonomía, composición, estructura comunitaria y funcionamiento de los morichales (Lasso *et al.*, 2013), existen pocos estudios publicados sobre la cantidad de biomasa total, su compartimentalización, y la cantidad de COS en los morichales, y sobre la productividad primaria y flujos de intercambio atmósfera-biósfera en estos sistemas.

Una de estas iniciativas es la de San José *et al.* (2010). Estos autores estudiaron la biomasa de la vegetación y el COS en morichales y en sus zonas de transición en 39 sitios localizados a lo largo de los llanos colombo-venezolanos. Resalta como una conclusión importante de este trabajo, la gran variabilidad de los parámetros medidos dependiendo de la ubicación de los sitios a lo largo de las toposecuencias estudiadas, donde cambiaron tanto la posición topográfica a lo largo de los valles, como

el nivel freático o profundidad de la lámina de agua, acompañados de los cambios subsecuentes en la fisonomía de la vegetación (densidad de palmas, densidad de elementos leñosos o desarrollo de la capa herbácea).

En Venezuela, las localidades estudiadas se encuentran en los estados Guárico, Anzoátegui y Monagas y representaron toposecuencias en valles en forma de "v". La densidad de COS estuvo entre 1,73 a 10,99 t C ha⁻¹, dependiendo de las variables ya mencionadas, y descendiendo logarítmicamente hacia el exterior de los valles. En los bosques de galería, la biomasa de la vegetación (fitomasa) en su componente aéreo alcanzó los 155 t C ha⁻¹, mientras en los sistemas de morichal y pastizal inundable estuvieron entre 3,48 a 13,34 t C ha⁻¹.

La biomasa subterránea exhibió un patrón similar, con relaciones subterráneo/aéreo entre 0,17 y 1,42. La relación entre el carbono contenido en la vegetación vs. aquel contenido en el suelo fue también muy variable, entre 168 y 0,22. La PPN fue también muy variable, siendo de 340 a 799 g C m⁻² año⁻¹ para los sistemas dominados por herbáceas y hasta de 2.438 g C m⁻² año⁻¹ para los morichales densos y/o bosques de galería. Con base en estas mediciones de campo, y asumiendo que los morichales abarcan un área total aproximada de 29.801 km² en los Llanos del Orinoco, los autores calculan que estas comunidades en toda la región colombo-venezolana acumulan 0,46 Pg C.

En cuanto a las emisiones de metano de los humedales del Orinoco, Sjögersten *et al.* (2014) ofrecen algunos de los datos producidos por Smith *et al.* (2000) y Smith y Lewis (1992) en una comparación global, con estimados entre 4,6 y 10,3 mg C m⁻² h⁻¹, con extremos entre 0,125 y 114. Estos valores corresponden principalmente a bosques inundables a ambas orillas del Orinoco (margen norte, en los llanos y margen sur, en la Guayana venezolana). No se han encontrado en la literatura otros datos a pesar de que se supone que las emisiones de metano deberían ser importantes también en los llanos inundables (sabanas semiestacionales e hiperestacionales).

I.4.3.2 b) Cambios de uso de la tierra y transformación del paisaje: visión general y algunos casos de estudio

San José y Montes (2001) estimaron los cambios en la cobertura y el uso en el balance de carbono en diferentes fitofisionomías de los llanos para el período 1982-1992. Sus resultados demuestran que las áreas bajo pasturas y plantaciones forestales se incrementaron por 0,005337x10⁶ km², ocasionando una reducción de las áreas agrícolas de 0,000119x10⁶ km². Como consecuencia de este cambio de cobertura, 174,66 Tg C año⁻¹ fueron liberados a la atmósfera. Según estos autores, se estima que el potencial como sumidero de Los Llanos del Orinoco se encuentra cerca de 8.300 Tg C. Sin embargo, el carbono en estos sistemas posee tiempos de residencia relativamente cortos, tomando cerca de 68 años, por lo que su potencialidad para el secuestro de carbono es limitada.

De acuerdo con los mapas referidos por Oliveira-Miranda *et al.* (2010), en la franja norte de los Llanos de Venezuela y el piedemonte andino se encuentra la mayor superficie intervenida en el país. La intercomparación de los mapas de 1988 y 2010, así como la comparación visual de éstos con el modelo de cobertura desarrollado por Chacón-Moreno (2004), apuntan a que las actividades agropecuarias serían la principal causa de modificación de la cobertura, sobre todo en los llanos occidentales y centrales, seguida del crecimiento urbano y la actividad petrolera. Esta última presenta un área mayor de impacto en los llanos orientales.

La iniciativa de intercomparación de los mapas de cobertura para la región llanera a partir de los datos provistos por Oliveira-Miranda *et al.* (2010) ofrece pocas luces sobre la posible dinámica de cambio de la cobertura en el tiempo considerado (1988-2010). Esto tomando en cuenta que la base cartográfica utilizada, así como la resolución a la cual los sistemas fueron mapeados, han cambiado entre estos dos momentos en el tiempo. Es difícil deducir si los cambios observados en la superficie ocupada por los sistemas son cambios reales, u obedecen a la incertidumbre asociada a las diferencias metodológicas que conllevaron la construcción de los modelos espaciales de cobertura de 1988 y 2010. Lo que sí parece evidente es que las áreas intervenidas se incrementaron notablemente en la región llanera entre 1988 y 2010, en un patrón que resulta concordante con los patrones de crecimiento poblacional y desarrollo, especialmente en los llanos occidentales y en la frontera norte de la región llanera. Es reconocido, por ejemplo, y se ha demostrado en varios trabajos, que la deforestación de los bosques semidecíduos en el piedemonte andino ha sido una de las más elevadas del país en términos históricos (Pacheco *et al.* 2011a y 2014). Estudios basados en la intercomparación de imágenes de satélite entre los años 2000 y 2005 llevados a cabo en la escala continental sugieren que los llanos occidentales y centrales (Cojedes y norte de Guárico) han producido altas emisiones de CO₂ a la atmósfera como resultado de la deforestación (Roman-Cuesta *et al.*, 2016).

Si bien hay pocos estudios a nivel regional sobre el impacto de los cambios de uso de la tierra en décadas recientes y su modelización hacia el futuro considerando los escenarios de cambio climático existen algunas iniciativas que abordaron estos aspectos en una escala espacial de paisaje. San José *et al.* (2009) documentaron los cambios en la cobertura leñosa y el almacenamiento de carbono desde 1938 hasta 1997 en sabanas estacionales en la sección norte del Parque Nacional Aguaro-Guariquito, en Los Llanos del Orinoco. Para esto se emplearon fotografías aéreas y mediciones sobre el terreno para evaluar los cambios en la cobertura leñosa y el almacenamiento de carbono. Se determinaron los cambios en la cobertura en función de los tipos fisionómicos, las prácticas de manejo y las variaciones climáticas. Desde 1974, la cuenca y las regiones aledañas fueron declaradas Parque Nacional. El área experimentó un incremento en la cobertura leñosa desde 6,7 hasta 8,3% en un lapso de 19 años. El

área manejada como tierras privadas (1938-1974) exhibió cambios en la cobertura de 3,9%. A escala regional, el área experimentó un incremento neto del 5,4%, en un período de 59 años.

El incremento regional de la sabana arbolada, el bosque de galería y el *woodland* (un tipo de sabana muy arbolado), fue de 5,1, 3,3, y 2,2%, respectivamente. En el caso de la sabana herbácea, el área decreció en un 10,7%. El incremento de la cobertura leñosa estuvo relacionado con fuerzas interactuantes opuestas (i.e., desvío del curso de agua y sequías desde 1971 hasta 1997). La fragmentación temporal de la vegetación fue explicada por un modelo exponencial. La relación alométrica, entre la cobertura del dosel y la fitomasa, fue usada para estimar el cambio en el almacenamiento del carbono en los tipos fisionómicos del paisaje. La acumulación de carbono se incrementó de 231 g C m⁻² a 544 g C m⁻² (2,3 veces durante los 59 años), mientras que la acumulación potencial de carbono en la región pasó de 21,5 a 51,0 x 10⁻³ Tg C. La mayor acumulación de carbono fue determinada en el bosque de galería.

De acuerdo con Thielen *et al.* (2007 y 2008) y San José *et al.* (2009), las variaciones en la disponibilidad del agua, generadas por la dinámica histórica de las precipitaciones, así como las prácticas de manejo, funcionan como determinantes en la potencialidad que representan actualmente las sabanas de Los Llanos del Orinoco como sumideros de carbono. Cambios en el uso de la tierra han llevado a una fragmentación de la vegetación en grandes extensiones de sabana, cuyas consecuencias no sólo resultan en una modificación en el balance de carbono, sino también en las propiedades atmosféricas relacionadas con el albedo, así como las hidrológicas. Las limitantes ambientales originan una diferenciación espacial en la capacidad de carga y en las prácticas agrícolas dominantes.

Históricamente, en las sabanas venezolanas, la fragmentación del paisaje ha sido exacerbada por las políticas gubernamentales de subsidios y redistribución de la tierra: las áreas de agricultura tradicional se entremezclan con las de la agricultura convencional, así como las áreas de pastoreo intensivo con aquellas con un uso extensivo. La cobertura de vegetación leñosa en las parcelas con historia de agricultura de altos insumos mostró ser más homogénea que aquella con exclusión. Con respecto al efecto del pastoreo en el paisaje, éste incrementa su fragmentación producto del forrajeo y el tránsito de los animales.

Los morichales a pesar de ser sistemas con una modesta superficie resultan muy importantes en términos del ciclo del carbono, especialmente en los llanos orientales donde poseen su mayor extensión. Esto debido a la alta productividad primaria que poseen aunada a la acumulación de carbono orgánico en el suelo que es favorecida por el exceso de agua en el suelo y la ralentización de los procesos de descomposición. San José *et al.* (2012) y Castillo *et al.* (2012) evaluaron el impacto del uso de la tierra

sobre los morichales, determinando que este modifica acentuadamente la hidrología del sistema, y por lo tanto afecta la dinámica de los componentes bióticos y abióticos.

Los resultados de estos estudios señalan que, producto del cambio del uso de la tierra, la profundidad del nivel freático experimentó una disminución sustancial, generando a su vez modificaciones en el patrón y funcionamiento del morichal. El incremento temporal en la cobertura leñosa y la variación en la distribución fractal, reflejan la invasión de especies leñosas con la disminución del nivel freático. El impacto del uso de la tierra sobre los morichales, modifica acentuadamente la hidrología del sistema, y por lo tanto afecta la dinámica de los componentes bióticos y abióticos. La profundidad del nivel freático experimenta una disminución sustancial, que se ha traducido en la escasez hídrica de los suelos en los niveles superiores. Estas modificaciones han influido en el patrón y funcionamiento del morichal. El incremento temporal en la cobertura leñosa y la variación en la distribución fractal refleja la invasión de especies leñosas con la disminución del nivel freático. Estas especies provienen de las sabanas contiguas bien drenadas.

I.4.3.3 Impactos del cambio climático sobre la dinámica de los ecosistemas llaneros

Un estudio que evalúa los efectos de la variabilidad de las precipitaciones en la dinámica de las sabanas estacionales en una escala temporal suficientemente amplia, que permite la detección y cuantificación de los impactos del cambio climático en la dinámica de este ecosistema, es el realizado por Thielen (2004). En dicho estudio, se estimó la dinámica espacio-temporal de la cobertura a partir de la interpretación de aerofotografías de los años 1938, 1961, 1978 y 1997. La cobertura se relacionó con las formas de relieve presentes en el área y con la dinámica de las precipitaciones, en base mensual, anual y estacional, para el lapso 1922-1997; así como en base diaria, para el lapso 1961-1997. La dinámica anterior se correlacionó con la variabilidad temporal en las anomalías de diversos índices macroclimáticos.

Los resultados señalan que, para todas las formas de relieve, existe una tendencia lineal significativa, a un incremento en la cobertura de leñosas. El incremento relativo anual (IRA) medio para los 59 años del estudio fue de 2,90%. Este incremento es temporalmente diferenciable y se obtiene a través de la secuencia de dos procesos distintos, no excluyentes: primero (serie 1938-1961), por la fusión o coalescencia de núcleos leñosos de poco porte que pasaron a formar polígonos de cobertura de un tamaño superior; y luego (series 1961-1978 y 1978-1997), por el establecimiento disperso de pequeños núcleos leñosos de $<100 \text{ m}^2$. El 72,4% de la cobertura original logra conservarse o persistir luego de 59 años, donde la mayor persistencia se observa en formas de relieve con dinámica hídrica de *run-on*. Esto, excepto para la forma que se ubica en el extremo húmedo, que presenta una breve fase de anegamiento anual y presenta valores de persistencia similares a las formas con *run-off*.

Las galerías (vegetación boscosa vinculada a cauces con aguas permanentes), presentaron un IRA medio de 4,20%, ocasionando un incremento lineal significativo en la cobertura del cauce del río desde el 22,3% en 1938, hasta el 64,8% en 1997. El establecimiento de leñosas en las galerías es temporalmente inverso a aquél de las formas de relieve: serie 1938-1961, el establecimiento es principalmente disperso y limitado a lo largo del cauce del río; mientras que, para las dos siguientes series, 1961-1978 y 1978-1997, el establecimiento es por fusión, donde la galería invade nuevos espacios, esta vez, fuera del cauce del río. Esta dinámica espacio temporal de la cobertura de leñosas es explicada por las variaciones históricas de las precipitaciones, y éstas a su vez, por la variabilidad temporal en las anomalías de diversos índices macroclimáticos.

El análisis pluviométrico señala una redistribución intranual importante de las precipitaciones entre 1922 y 1997; y que resulta en un mejoramiento temporal de las condiciones climáticas relativas para la entrada de las lluvias (abril-mayo), así como para la estación húmeda propiamente (junio-septiembre), tornándose estas estaciones, de una condición inicial relativamente más seca (1922-1940) a una sensiblemente más húmeda, esto a lo largo de las series 1941-1959, 1960-1978 y 1979-1997. Mientras que para la salida de las lluvias, octubre-noviembre, la redistribución de las precipitaciones generó un proceso temporalmente inverso: se inicia con una condición climática relativa más húmeda tornándose luego relativamente más seca.

El análisis de las precipitaciones en base diaria arroja evidencias de que una condición climática relativa “más húmeda” se logra a través de un incremento en los días de precipitación, y que para el caso de la serie 1961-1978, la mayor frecuencia es para precipitaciones de hasta 50mm/día de intensidad; mientras que para la serie 1979-1997, la mayor frecuencia es para las precipitaciones especialmente intensas (>50mm/día).

La condición climática relativa de las series temporales analizadas, presenta correlaciones significativas con la dinámica temporal de las anomalías de precipitación, donde la condición “más seca” inicial de la entrada de lluvias y de la estación húmeda se correlaciona con temperaturas cálidas en las aguas superficiales de la región del Pacífico Niño 3.4; y su posterior transformación a una condición “más húmeda”, con la presencia de temperaturas elevadas en las aguas superficiales del Atlántico Norte Tropical. La elevada frecuencia de precipitaciones especialmente intensas durante 1979-1997, se correlacionaron además con una mayor actividad de ENSO.

Durante la serie 1938-1961 el incremento de la cobertura de leñosas en las formas de relieve es por fusión en respuesta a un déficit hídrico (\downarrow ADP) producto de una condición relativa más seca, especialmente para la estación húmeda. En una escala más local, el IRA está determinado por la dinámica hídrica dominante: *run-on* > *run-off*. Para las galerías, el incremento de la cobertura es

I.4 disperso en respuesta al espacio disponible a lo largo del cauce del río, donde el déficit hídrico generalizado es mínimo. Para la siguiente serie, 1961-1978, el incremento de la cobertura en las formas de relieve es disperso en respuesta a un incremento generalizado en la oferta hídrica (\uparrow ADP). Una mayor frecuencia de precipitaciones moderadas en la entrada de lluvias y la estación húmeda, podría ocasionar condiciones de anegamiento en los niveles más bajos, lo que explicaría que, en una escala más local, el IRA sea mayor en las formas de relieve mejor drenadas: $run-off > run-on$. El incremento generalizado en el ADP durante esta serie, inicia además un proceso donde las galerías ocupan, por fusión, los nuevos espacios favorables que se generan fuera del cauce del río.

Para la última serie, 1978-1997, el incremento de la cobertura es aún más disperso, y responde a un incremento mayor en la oferta hídrica ($\uparrow\uparrow$ ADP), tanto para la entrada de lluvias como para la estación húmeda. La mayor frecuencia de precipitaciones intensas, aunada a una mayor frecuencia de días secos (veranitos), podría reducir las condiciones de anegamiento de la serie anterior. En una escala más local, el IRA se torna ahora espacialmente homogéneo, donde: $run-off = run-on$. Para las galerías, la situación hídrica es suficientemente favorable, e invaden directamente la sabana.

I.4.3.4 Paleoecología y paleoclimatología en los Llanos del Orinoco: desarrollo de climas áridos/semiáridos en el pasado e implicaciones para escenarios futuros de cambio climático

Desde los años 70 del siglo XX, llamó la atención la presencia de campos de dunas fósiles y algunas activas, en la porción occidental de los llanos de Venezuela y en los Llanos Orientales de Colombia. De acuerdo con las dataciones absolutas realizadas por Roa (1979) y Vaz y García-Miragaya (1989), existen distintas generaciones de dunas, originadas durante el Cuaternario, hace 60.000, 40.000, 20.000 y 12.000 años AP (antes del presente), en las fases más frías/secas del Cuaternario. Estudios recientes, donde se realizaron dataciones por Luminiscencia Ópticamente Estimulada (OSL, por sus siglas en inglés), corroboran estos primeros hallazgos (González *et al.*, 2013; Carr *et al.*, 2016), y concluyen que tales sistemas eólicos se formaron bajo la ocurrencia de climas áridos o semiáridos. Esto es, con niveles de precipitación promedio anual inferiores a los presentes y/o con una estacionalidad de las lluvias más marcada que la actual.

En los Llanos Orientales de Colombia se realizaron numerosos estudios paleopalinológicos en lagunas y morichales. Algunos de ellos abarcaron hasta el último máximo glacial (i.e. alrededor de 18.000 años AP). Allí se encontró la alternancia de períodos con clima similar o más húmedo que el presente, con fases más secas/estacionales que el presente, incluso durante el Holoceno (Behling & Hooghiemstra, 1998; 1999; 2000; 2001; Berrío *et al.*, 2000, 2002; Wille *et al.* 2003). Algunos de estos períodos más secos/estacionales se relacionaron con cambios en la posición geográfica de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT). Estos estudios sugieren que los llanos, al estar en la periferia de la

Cuenca Amazónica, bajo climas fuertemente estacionales, son vulnerables a la reorganización del sistema climático en las escalas: sub-continental, continental y global.

Los Llanos de Venezuela son mucho menos conocidos que la porción colombiana en términos paleoambientales. No obstante, los pocos trabajos disponibles apuntan al desarrollo de fases mucho más secas/estacionales que el presente, entre los inicios y mediados del Holoceno (alrededor de 8.000 años AP, de acuerdo con Vaz & García-Miragaya, 1992 y González *et al.*, 2013), y durante el Holoceno medio a tardío (Leal & Bilbao, 2011; Leal *et al.*, 2011). Una fase extremadamente seca/estacional hallada alrededor de los 3.000 años AP se ha correlacionado con una mayor actividad de El Niño Oscilación del Sur (ENSO), inferida en los sedimentos de la Fosa de Cariaco para este período (Haug *et al.*, 2001; Sánchez *et al.*, en prensa).

Los cambios observados en la región llanera, en la escala de milenios y siglos, se han traducido a nivel de los ecosistemas en la expansión del bosque de galería durante las fases húmedas y en su retracción durante las fases secas. La dinámica sabana-bosque es central al considerar las emisiones de GEI desde y hacia los ET llaneros. En Venezuela se ha observado que el fuego es una perturbación importante en la definición de esta dinámica, aunque los regímenes de fuegos pasados parecen estar fuertemente influidos por los patrones de ocupación humana (Sánchez *et al.*, en prensa).

Para los últimos dos milenios se ha observado en términos generales el establecimiento del clima actual y la expansión del bosque de galería y el morichal (Behling & Hooghiemstra, 2001; Leal & Bilbao, 2011). No obstante, en algunas localidades donde el impacto humano ha sido intensivo para este período, como en el piedemonte andino barinés, caracterizado por la presencia de sociedades prehispánicas jerárquicas como los Cacicazgos, se ha observado que las actividades humanas contribuyeron al mantenimiento y expansión de la sabana (Sánchez *et al.*, en prensa).

Bajo los actuales escenarios de cambio climático, se espera que como consecuencia del aumento de las temperaturas globales, algunas oscilaciones como ENSO se hagan más frecuentes/intensas, y es posible que existan cambios en la distribución espacial y temporal de las lluvias. Los resultados paleoclimáticos obtenidos para los llanos, a pesar de que todavía carecen de indicadores cuantitativos concretos, alertan sobre el potencial de desarrollo de climas mucho más estacionales que el presente en la región llanera en términos históricos. Existe un gran potencial en estas herramientas paleoambientales para el desarrollo de series de tiempo que permitan construir modelos mecanísticos sobre el sistema climático llanero y su espectro de variabilidad natural. La comprensión de estos aspectos permitiría luego evaluar la vulnerabilidad de los socio-ecosistemas ante escenarios futuros de cambio climático.

I.4.3.5 Consideraciones finales y conclusiones

Los pronósticos de cambios globales alertan sobre uno de los retos más importantes: entender sus efectos sobre la dinámica de la vegetación en los ecosistemas, de manera que puedan generarse prácticas de conservación y manejo ajustadas a las nuevas tendencias. En el caso de las sabanas, deben realizarse estudios que logren identificar los factores y describir los procesos que, a diferentes escalas, regulan la dinámica espacial y temporal de la cobertura de leñosas a través del análisis de las interacciones que existen entre los patrones estables de distribución del sustrato y los patrones variables del clima.

- Las variaciones temporales en las precipitaciones resultan en un mejoramiento en el balance hídrico, suficiente para sobrellevar limitaciones impuestas por la heterogeneidad del sustrato y ocasionar una invasión generalizada y significativa de leñosas. La tendencia lineal significativa sugiere que la sabana no está en equilibrio con las condiciones actuales, y su presencia pudiera interpretarse como formaciones relictuales desarrolladas bajo climas del pasado reciente y actualmente en vías de ser reemplazadas por ecosistemas correspondientes a nuevos escenarios de precipitaciones.
- Las prácticas de manejo y conservación de las sabanas estacionales de Los Llanos del Orinoco deben estar en concordancia, en el corto y mediano plazo, con el hecho de que se trata de sistemas inestables y dinámicos, y estar orientadas hacia la preservación de la tendencia natural del cambio y de la capacidad de respuesta que han demostrado, ante la variabilidad climática histórica. En el largo plazo, las prácticas de manejo y conservación deberán incorporar el conocimiento sobre nuevos estudios de la dinámica ecológica, a través de una ampliación de la escala espacio-temporal de trabajo, así como el de los avances en las tendencias del cambio climático con respecto a su dirección y su velocidad de cambio; es decir: ¿será más seco o más húmedo el clima futuro para las sabanas presentes en Los Llanos del Orinoco? y ¿este cambio, se alcanzaría de forma gradual o abrupta?
- El conocimiento paleoecológico y paleoclimatológico actual de los Llanos del Orinoco apunta a la ocurrencia de climas áridos y semiáridos en varios momentos del Cuaternario y hasta el pasado “reciente” (Holoceno medio y tardío), con la configuración de sistemas dunas, especialmente en las porciones central y occidental de los llanos de Venezuela. Durante las épocas más húmedas se observa la expansión del bosque de galería, y su retracción y subsecuente expansión de la sabana durante los períodos secos. Aun no se comprende bien la dinámica del fuego a largo plazo en la región, pero parece estar relacionada con la actividad humana. Además, se ha observado una relación entre estas fases más secas/estacionales que en el presente, así como con los cambios

en la ZCIT y con la actividad de paleo-ENSO. Todo esto es de gran relevancia para ser considerado bajo escenarios futuros de cambio climático. Es importante resaltar que la mayor parte de los llanos permanece inexplorada desde el punto de vista paleoambiental. Invertir esfuerzos en esta área de conocimiento es fundamental para producir series de tiempo que puedan ayudar a construir y validar modelos, a fin de comprender la variabilidad natural del sistema climático llanero. A partir de aquí se podrían además dar luces sobre la vulnerabilidad/resiliencia de los socio-ecosistemas contenidos en la región.

I.4.4 La Cordillera de la Costa

I.4.4.1 Ubicación y características generales

El sistema montañoso del Caribe, un complejo de montañas a lo largo de la región costera del norte de América del Sur, se extiende en dirección oeste-este desde la Sierra Nevada de Santa Marta y la Península de la Goajira en Colombia, hasta Tobago y el norte de Trinidad (Bellizzia y Dengo, 1990) (Figura I.4.6). La Cordillera de la Costa Central se desarrolla a lo largo de la franja septentrional del país, entre la depresión de Barquisimeto en el oeste y la depresión de Unare en el este, alcanzando su mayor altitud, de 2.765 m s.n.m., en el pico Naiguatá (Rodríguez y Rojas-Suárez, 2010).



Figura I.4.6 Ubicación del sistema orográfico del Caribe o Cordillera de la Costa en Venezuela. Se observa el rango de elevaciones del sistema. Figura F. Sánchez.

La depresión de Unare divide el sistema en dos macizos: la rama central y la rama oriental. Cada una de estas ramas a su vez está dividida en otras dos: una cadena exterior y una interior. Una excepción es la parte occidental de la Cordillera de la Costa central, donde la cadena exterior no está separada de la cadena interior, sino que forma un solo macizo cerrado, que se llama Macizo de Nirgua, donde las alturas máximas se elevan hasta 1.800 m.

En el sector occidental de la Cordillera de la Costa central, la cadena exterior es separada de la interior por diferentes depresiones, por ejemplo, la depresión del lago de Valencia y el valle de Caracas (Meier, 2011). La cadena exterior alcanza mayores alturas que la cadena interior. El Pico Naiguatá dentro del Parque Nacional El Ávila con una altura de 2.765 m s.n.m. es la elevación más alta de la Cordillera de la Costa, mientras que en la Cordillera del Interior es la alcanzada por el Cerro Platillón con 1.931 m s.n.m. La cadena exterior del sector oriental de la Cordillera de la Costa está formada por la doble Península de Araya y Paria; aquí las montañas raras veces sobrepasan los 1000 m s.n.m., mientras la cadena interior forma un macizo imponente que alcanza con el Cerro Turimiquire hasta 2.595 m s.n.m. (Meier, 2011).

En relación a su geología, debido a su complejidad estructural, litológica y topográfica, se ha llevado a clasificar este sistema montañoso en seis fajas, las cuales se han actualizado a través del tiempo. Según Urbani (2011), el término “faja” se refiere a un cinturón de dos sistemas de clasificación del sistema montañoso de la cordillera: napas y terrenos. Estos siete terrenos “consisten en bloques que han sido rotados y trasladados en dirección Este, durante los procesos de interacción entre las placas Caribe y suramericana” (Urbani, 2011.). No obstante, la faja Ávila y la faja Caracas no han sido subdivididas en terrenos; estas son consideradas autóctonas respecto a una lámina cabalgante, situada por encima, y alóctonas respecto a otra lámina situada por debajo. Esto significa que rocas de posición inferior son empujadas hacia arriba, por encima de los estratos más recientes gracias a fuerzas de compresión.

El clima en la cordillera es complejo, dada su posición con respecto a las corrientes atmosféricas y a los rangos de altitud que posee. Como explica Martelo (2003), en la franja costera (piedemonte de la vertiente norte) se suelen presentar climas áridos o semiáridos debido al efecto de “sombra de lluvia” que genera la orientación E-O predominante de la cordillera, que es casi perpendicular al Alisio. Sólo en regiones donde la cordillera cambia de orientación se presentan mayores precipitaciones en lo que al piedemonte costero se refiere (como en Barlovento, Aroa y la parte oriental de la Península de Paria). Así, en la franja costera, las precipitaciones rondan los 600 mm de lluvia promedio anual, mientras que en Barlovento puede sobrepasar los 2.000 mm, con una estacionalidad poco marcada. Casi toda la cordillera presenta, sin embargo, un clima altamente estacional, con el 70% de las lluvias concentradas en la época lluviosa.

En la vertiente sur de El Ávila, se desarrollan climas con precipitaciones promedio anuales de alrededor de 800-900 mm en los valles internos (Caracas, por ejemplo) (Steyermark y Huber, 1978), aumentando hacia lugares más elevados, como los altos mirandinos. También existe un gradiente de aumento de la estacionalidad de las lluvias hacia el suroeste y sur (hacia Aragua y el norte del estado Guárico), aunque al suroccidente de Miranda se encuentra una de las localidades más lluviosas de la

cordillera, dentro del Parque Nacional Guatopo. También existen gradientes de aumento de la precipitación con la altitud en ambas vertientes (norte y sur), así como en los ramales interiores de la cordillera. Esta gran variabilidad obedece a los cambios de relieve, presencia de picos y abras. Todo esto produce importantes gradientes de precipitación/evapotranspiración que afectan la disponibilidad de agua, explicando buena parte del desarrollo de la vegetación y su fisonomía.

I.4.4.2 Patrones de cobertura de la tierra y estado del conocimiento sobre los inventarios de carbono en sistemas naturales

I.4.4.2 a) Cobertura de la tierra

No existe un esfuerzo que, a la escala de paisaje, haya cuantificado la cobertura de la tierra en la Cordillera de la Costa. Sin embargo, la cobertura de vegetación por entidad federal brindada por Oliveira-Miranda *et al.* (2010), que se presenta resumida en la [tabla I.4.14](#), puede ayudar a abordar este aspecto, acotando las propias limitaciones del trabajo de estos autores. La escala a la cual se realizó este estudio es muy gruesa, y no es por tanto adecuada para cuantificar ciertas comunidades de modesta extensión, o que presentan un patrón de fragmentación tan pronunciado como el observado en la Cordillera de la Costa, que constituye una de las regiones más intervenidas del país.

Tomando los datos del esfuerzo a la escala de país, presentado por Oliveira-Miranda *et al.* (2010), la vegetación natural predominante en la Cordillera de la Costa es la boscosa, donde se reconocen seis tipos. Los bosques semidecíduos ocupan aproximadamente 7.348 km²; este ecosistema es el que abarca mayor superficie, siendo el estado Miranda el de mayor representatividad, con 81% de los mismos, los bosques decíduos, con 4.919 km²; los bosques siempre verdes *per se* le siguen, con una superficie estimada de 3.936 km², concentrándose el 71% en el estado Miranda y finalmente los bosques nublados con 628 km², dónde el 51% del sistema está representado en los estados Aragua y Miranda. En estos sistemas se reconoce un discreto número de endemismos, tales como en Aragua (Parque Nacional Henry Pittier) y en el Distrito capital (Parque Nacional el Ávila).

Adicionalmente, se observa una secuencia de pisos altitudinales que van desde los bosques tropófilos basimontanos (semidecíduos o decíduos), bosques semidecíduos submontanos de transición, hasta llegar a una faja bien desarrollada de bosques ombrófilos submontanos a montanos y/o bosques nublados costeros (Geo Venezuela, 2007). Estos últimos se pueden diferenciar en bosques de zonas altas (desde aprox. 1.700 hasta 2.200-2.400 m s.n.m.) y bosques de zonas bajas (600-1.700 m s.n.m.) (Meier, 2011). Así mismo, existen bosques aislados en el Cerro Santa Ana (Falcón) y el Cerro Copey (Nueva Esparta), los cuales son montañas insulares cerca de la costa, que presentan un bajo número de especies endémicas y la mayoría de las especies tienen una amplia distribución en el Neotrópico (Meier, 2011).

Tabla I.4.14 Cobertura de la tierra en las entidades federales que abarcan la Cordillera de la Costa.

Tipo de Vegetación	Entidad federal	Área (1988)	Área (2010)
		km ²	km ²
Bosques siempre verdes <i>per se</i>	Aragua	789	433
	Carabobo	38	356
	Distrito Capital	98	40
	Miranda	1.764	2.806
	Vargas	209	301
Bosques nublados	Aragua	213	318
	Carabobo	45	22
	Distrito Capital	31	63
	Miranda	113	164
	Vargas	92	61
Bosques de manglares	Miranda	18	162
Bosques semidecíduos	Aragua	2.013	306
	Carabobo	1.097	693
	Distrito Capital	45	14
	Miranda	2.472	5.975
	Vargas	272	360
	Guárico	3.117	385
Bosques decíduos	Aragua	709	1.993
	Carabobo	1.855	1.287
	Distrito Capital	14	28
	Miranda	1.222	1.465
	Vargas	370	146
	Cojedes	1.877	1.363
Arbustales espinosos	Aragua	275	233
	Miranda	495	204
	Vargas	144	32
	Yaracuy	0	65
Sabanas arbustivas/arboladas	Aragua	1.394	1.227
	Carabobo	826	329
	Miranda	14	86

Fuente: adaptada de Oliveira-Miranda *et al.*, 2010.

Más específicamente para el bosque nublado del Parque Nacional El Ávila, se describen 13 unidades de vegetación diferentes (Monedero y Gutiérrez, 2001; Meier, 2011), de las cuales las más importantes son el bosque de *Clusia muliflora*, los bosques de *Micropholis crotonoides*, de *Myrcianthes karsteniana* y *Podocarpus oleifolius* (Meier, 1998). Para Rancho Grande (Parque Nacional Henry Pittier), se distinguen 3 tipos de bosques nublados: La selva de transición (ubicada entre la selva nublada y la selva semidecídua), la selva nublada y la selva nublada superior. Estos bosques contienen entre 500 y hasta 600 árboles por hectárea, constituidos por 60 especies en 25 familias para la selva de transición (Meier, 2011).

Con relación a los arbustales espinosos, en la Cordillera de la Costa ocupan 534 km², de los cuales el 50% se encuentran en el estado Aragua. Finalmente, se encuentran las sabanas arbustivas o arboladas que abarcan 1.642 km² para el 2010 y donde el 74% se encuentran en el estado Aragua. Con una escala menor, existen otros grupos de vegetación herbácea. Específicamente en el Parque Nacional El Ávila, se encuentran los subpáramos arbustivos costeros, los cuales crecen por encima de la región de bosque nublado desde aproximadamente 2.200 m s.n.m., en el Pico Occidental, el Pico Oriental y el Pico Naguayá (Steyermark y Huber, 1978). La vegetación del subpáramo con sus sitios especiales está tratada en Vareschi (1955), donde distingue nueve diferentes comunidades: *Stignemetum*, *Usneetum laevis*, *Espeletietum neriifoliae*, *Arthrostylidietum subpectinati*, *Chusqueetum spencei*, *Excremidetum coarctatae*, *Agrostidetum humboldtiana*, *Rhynchosporium setaceae*, *Sphagnetum magellanicum*.

Las sabanas ocupan dentro del Parque Nacional El Ávila unas 2.000 ha aproximadamente. De ellas, 67% se ubican entre 500 y 1.500 m s.n.m. La mayor parte de las sabanas se encuentran en las inmediaciones de Caracas, en la vertiente sur, entre 0 y 500 m s.n.m. Estos sistemas se pueden dividir en dos grupos: sabanas primarias y sabanas secundarias. Las sabanas primarias, representadas por la comunidad *Axonopetum pulchri* (rodales de micay), se encuentran en sitios especiales como crestas acantiladas, con suelos superficiales, pobres de elementos, expuestas al viento entre 1.100 y 1.500 m s.n.m.

Las sabanas secundarias, de origen antrópico, se dividen en tres comunidades: el *Agrostidetum humboldtiani* (rodales de grama de Humboldt) se encuentra en altitudes superiores del Ávila (por encima de 1.900 m s.n.m.), el *Melinetum minutiflorae* (pasto melado) ocupa en las sabanas la mayor superficie, que en tiempo de floración otorgan el color rosa a las laderas inferiores del Ávila. También, el *Panicetum maximi* (gamelotal), se encuentra en grandes superficies, sobre todo en las laderas inferiores del Ávila. Grandes espacios dominados por *Panicum maximum* existen por ejemplo entre la Quebrada Cotiza y Quebrada Catuche entre 1.000 y 1.200 m s.n.m. *Melinis minutiflora* y *Panicum maximum* fueron introducidas de África. Gracias al combate de los incendios, desde la fundación del Parque Nacional, los arbustos han sucesivamente colonizado las sabanas, sobre todo *Oyedaea verbesinoides* (Asteraceae).

I.4.4.2 b) Inventarios de carbono

Los estudios sobre los inventarios de carbonos en los ET de la Cordillera de la Costa son escasos, limitándose a unos pocos estudios locales. En Loma de Hierro, Monedero & González (1995), reportan que la fitomasa aérea es de 393 t ha⁻¹, valor encontrado en el rango de otros estudios para diversas comunidades tropicales. La productividad de hojarasca fue de 10,7 t ha⁻¹ año⁻¹. En el bosque nublado de Rancho Grande (Parque Nacional Henry Pittier), se determinó la biomasa aérea de árboles en 343 t ha⁻¹ (337,8 de madera y 4,68 de componente foliar). La biomasa de epífitas estimada fue de 3,8

t ha⁻¹, la biomasa de hierbas 0,89 t ha⁻¹, los troncos muertos en pie 24 t ha⁻¹ y la biomasa de raíces 73,3 t ha⁻¹ (Medina, 1986; citado por Meier, 2011).

La ausencia de datos sobre la composición, estructura comunitaria y dinámica del carbono en los bosques de los altos mirandinos, en la Gran Caracas, motivó al grupo de investigación del Laboratorio de Comunidades y Procesos Ecológicos de la Universidad Simón Bolívar, a comenzar un experimento de monitoreo en la microcuenca del valle de Sartenejas, específicamente en la Reserva Ecológica de la Universidad Simón Bolívar y en los cafetales abandonados de la Estación Experimental Jaime Henao Jaramillo de El Laurel.

Entre los resultados preliminares de estos experimentos, Pedraza *et al.* (2015 a y b), reportan lo siguiente: las áreas muestrales fueron de 0,3 ha y de 0,1 ha en El Laurel y Sartenejas, respectivamente; los bosques están ubicados entre 1.200 y 1.400 m s.n.m. Los stands están dominados por *Ocotea fendleri*, *Platymiscium trinitatis*, *Syzygium jambos* y *Myrcia fallax* y por *Croton megalodendron* (sólo en Sartenejas). Los stands de El Laurel son menos densos que los de Sartenejas (con entre 1.000 y 3.000 árboles por ha en El Laurel, y más de 5000 en Sartenejas), datos que están acordes con las categorías diamétricas predominantes, que estuvieron centradas hacia los 20-40 cm DAP (de diámetro a la altura al pecho) en el Laurel, y hacia los 5-20 cm DAP en Sartenejas (ver también Baruch y Nozawa, 2014).

La densidad de la biomasa estimada fue de 343+/-107 t ha⁻¹ y 544+/-278 t ha⁻¹ en Sartenejas y El Laurel respectivamente, a partir del modelo alométrico de Chave *et al.* (2005). Estas estimaciones podrían sobrestimar la biomasa de madera, pues en estos bosques secundarios existe un desarrollo diamétrico mayor al esperado para la baja altura que reportan los árboles. Es posible que los datos de densidad de la madera usados, también sobreestimen la biomasa de madera en pie, en tanto fueron tomados de individuos pertenecientes a las especies dominantes, pero que crecieron en bosques maduros (de acuerdo con la base de datos mundial utilizada por Chave *et al.*, 2015). Los valores de densidad de la madera en Sartenejas y El Laurel podrían ser más bajos que los reportados por Chave *et al.* Actualmente, se están realizando estimaciones de la altura de los árboles muestreados a fin de aplicar los modelos alométricos que consideren esta variable.

Las estimaciones de biomasa contenida en el mantillo y la hojarasca rondan los 50+/-14 y 18+/-3 t ha⁻¹ para el mantillo y 13+/-13 y 1,3+/- 0,9 t ha⁻¹ para el colchón de hojarasca en Sartenejas y El Laurel, respectivamente. Estos fueron estimados directamente por técnicas destructivas. Esto aunado a los altos valores de materia orgánica del suelo (MOS) hallados para estas localidades, especialmente para El Laurel, donde ésta ronda los 9-17% en los primeros 40 cm de suelo, sugieren que el tamaño de los reservorios del suelo, el mantillo y el colchón de hojarasca es considerable en estos bosques montanos. El escalamiento de estos resultados en el espacio requiere, sin embargo, contar con más réplicas en

otros fragmentos de bosque de los altos mirandinos y de la evaluación del tamaño de estos fragmentos mediante el uso de sistemas de información geográfica; una tarea compleja, considerando el alto grado de fragmentación de estos sistemas, los intrincados bordes y ecotonos de estos bosques con otras comunidades de plantas, y el carácter altamente accidentado de la topografía regional.

En cuanto a los flujos medidos en esta misma iniciativa, se estimaron las tasas de productividad de hojarasca y descomposición de la hojarasca en los años 2015-2016 y 2016-2017. La producción de hojarasca estuvo entre 800 y 1.000 g m⁻² año⁻¹ en El Laurel y alrededor de 500 g m⁻² año⁻¹ en Sartenejas. La descomposición fue del 30-50% anual y fue sensiblemente menor durante el ciclo 2015-2016, probablemente debido a que este fue un año Niño, con precipitaciones inferiores a los promedios históricos de la zona.

Por otra parte, la productividad de hojarasca fue significativamente mayor durante el ciclo 2015-2016, debido a la alta tasa de mortalidad de las hojas, que se tradujo en la apertura del dosel. En el caso de Sartenejas todas las especies de árboles perdieron las hojas. Estos bosques, que están sometidos a acelerados procesos de fragmentación debido a la expansión urbana y a la ocurrencia de fuegos, podrían jugar un importante papel en el ciclo del carbono de la Gran Caracas, considerando que, al degradarse, éstos son sustituidos por vegetación de bajo porte, como pastizales, matorrales y helechales, lo que conduce a la pérdida de carbono contenido en la biomasa regional, así como en la necromasa, mantillo de raicillas y suelos.

I.4.4.3 Cambios de uso de la tierra y transformación del paisaje

La Cordillera de la Costa se encuentra en el área más densamente poblada del país. Los estados Vargas, Miranda y Distrito Capital, solamente, contienen más del 20% de la población nacional, de acuerdo al último censo (INE, 2011). Si se adicionan Aragua y Carabobo, esta proporción aumenta a más del 34%. En esta porción del país ha ocurrido la mayor expansión urbana y periurbana. Es por ello que Oliveira-Miranda *et al.* (2010) reportan grandes superficies de áreas intervenidas en la comparación de los mapas de cobertura de los años 1988 y 2010.

Pacheco *et al.* (2011), consideran que, si se toma la distribución de los cambios de cobertura vegetal por regiones, se observa que la zona situada al norte del Río Orinoco ha sido la de mayor dinamismo, empezando por una ganancia del bosque entre 1920 y 1960, donde se destaca la región centro-norte con un 57,80%, seguida de la Noroccidental con 5,13% y la nororiental con 2,68%; mientras que los períodos con mayor porcentaje de pérdida se sitúan entre 1920 y 2001, con -61,86% en la región centro-norte, -61,62% en la noroccidental y -49,53% en la nororiental. En el período 1920-2008 ocurrieron nuevamente pérdidas, aunque en menor porcentaje: -50,42, - 40,94 y -39,26% en las regiones centro-norte, noroccidental y nororiental, respectivamente. Cabe destacar que este estudio no

discrimina la porción norte de los llanos del sistema de la Cordillera de la Costa, por lo que no se puede asumir todas estas pérdidas como netas de la vegetación perteneciente a esta última. Sin embargo, queda claro que los procesos de deforestación en el eje centro-norte-costero del país son históricos.

Existen varias ABRAE en la Cordillera de la Costa, principalmente protegiendo los bosques nublados, que, pese a su modesta extensión, se reconoce que cumplen servicios ambientales esenciales, especialmente como generadores y protectores de las cuencas altas de los ríos. Entre los más destacados está el Parque Nacional Henry Pittier, el Parque Nacional Macarao, el Monumento Natural Pico Codazzi y el Parque Nacional El Ávila o Waraira Repano. El Ávila ha experimentado procesos de transformación del paisaje probablemente desde épocas pre-coloniales, y luego durante la época colonial y republicana, que llevaron a la presencia de grandes áreas con vegetación intervenida o secundaria.

Meza (1996), realizó una clasificación y cuantificación de la vegetación del Ávila, obteniendo que casi el 70% de la superficie del Parque Nacional está cubierta por bosques, que están intervenidos en diferente grado, generando las siguientes categorías: sin intervención del área boscosa 79,27% (46.790 ha); moderada intervención 4,24% (2.500 ha), mediana intervención 4,4% (2.595 ha); fuerte intervención 12,10% (7.140 ha). No obstante, más allá de esfuerzos puntuales, no existe un observatorio monitoreando los cambios de cobertura a diferentes escalas en las áreas más densamente pobladas de la Cordillera. El estado Miranda es uno de los más importantes para establecer este observatorio, considerando el crecimiento sostenido de la infraestructura urbana de la Gran Caracas, y tomando en cuenta el hecho de que posee la mayor masa forestal de la Cordillera de la Costa.

I.4.4.4 Impactos del cambio climático sobre los ecosistemas de la Cordillera de la Costa y su biodiversidad

A pesar de que en la Cordillera de la Costa se presentan ET que podrían ser muy sensibles al cambio climático, ya sea por su distribución altitudinal (por ejemplo, especies que habitan el subpáramo o la selva nublada), o por la fuerte condición estacional del clima actual (bosques tropófilos del piedemonte y sistemas semiáridos de la vertiente norte-costera), no se cuenta con trabajos que evalúen, ni experimental ni teóricamente, el impacto presente y futuro del cambio climático. Así, al momento de escribir este capítulo, no se encontraron estudios que relacionen directamente al cambio climático con la dinámica de los ET. Esto puede deberse a: 1) no existen parcelas permanentes de vegetación (para ningún sistema), que permitan el monitoreo a largo plazo; 2) la gran variedad de ecosistemas vegetales presentes en la Cordillera de la Costa se explican en su mayor proporción por la presencia de gradientes altitudinales y climáticos; se requiere un gran esfuerzo de muestreo en campo para determinar los indicadores que podrían medir los potenciales efectos del cambio climático sobre la vegetación; 3) La escala de trabajo óptima para identificar procesos de cambio en la cobertura, e incluso para cuantificar

los inventarios y flujos de GEI desde y hacia los ET en la Cordillera de la Costa es la escala de paisaje. Los estudios puntuales son iniciativas valiosas, pero es difícil escalar los resultados hacia resoluciones menores, debido al carácter fuertemente local de los estudios disponibles.

I.4.4.5 Consideraciones finales y conclusiones

- La Cordillera de la Costa debería contener los ET mejor estudiados del país, por cuanto sobre ella se encuentra la capital de la República y cuatro de los estados más poblados y desarrollados del país. Lamentablemente, a excepción de unos pocos estudios de vieja data, no se cuenta con información actualizada para la región, encontrándose unos pocos trabajos recientes con un marcado énfasis hacia el estudio de la composición florística. Estas iniciativas, aunque valiosas, distan mucho de lo que se requeriría para contar con una base científica suficiente que permitiese, tanto la estimación con un alto grado de confianza de la extensión de los sistemas naturales y de sus grados de intervención, como la cuantificación de los impactos de los acelerados cambios de uso de la tierra que se observan en la región.
- El modelaje espacial de los inventarios de carbono contenidos en los ET, sólo incluyen algunas mediciones puntuales, por lo que no se puede abordar la densidad de carbono contenida en el COS. Los estudios de suelo publicados son extremadamente escasos. Hay áreas de la cordillera mejor conocidas que otras.
- El bosque nublado, pese a su modesta extensión, ha recibido mayor atención, dada su importancia en la conservación de la integridad de las cuencas hidrográficas. Sin embargo, hay carencia de estudios publicados en vastas áreas de la Cordillera, incluida la vertiente norte del Parque Nacional Ávila (estado Vargas), los bosques de piedemonte y montanos de las costas de Aragua, casi toda la cadena central del Interior (estados Aragua, Miranda y Guárico) y los ET basimontanos y montanos del estado Sucre. Es un hecho que no existen estudios de base suficientes en la Cordillera de la Costa, lo que limita el desarrollo de estudios a largo plazo, sobre parcelas permanentes. Sin este tipo de estudios no es posible conocer el potencial efecto del cambio climático sobre la biodiversidad de los ET en la Cordillera de la Costa.

I.4.5 Los sistemas áridos y semiáridos de los estados Lara y Falcón

I.4.5.1 Características generales

Las zonas áridas y semiáridas de Venezuela, definidas por estar ubicadas por debajo de los 500 m s.n.m., tienen una precipitación media anual inferior a los 800 mm, están geográficamente establecidas en cuatro regiones bien definidas: a) a lo largo de la costa venezolana desde la Goajira

hasta la Fosa de Cariaco; b) en la altiplanicie de Barquisimeto; c) en los Andes; y d) en las islas del Caribe (Matteucci, 1986).

La depresión Lara-Falcón, también denominada Sistema Coriano, es una región de relieve variado y poco elevado, con altitudes entre 500 y 1.700 m s.n.m. Se ubica al noroeste del país y ocupa la casi totalidad de los estados Falcón, Lara y parte de Yaracuy, con un área aproximada de 52.000 km². Se encuentran también en esta región las llanuras de origen lacustre-aluvial semiáridas y los Médanos de Coro (PAN, 2004). Esta región se caracteriza climáticamente por presentar una precipitación media anual entre 400-800 mm, una evaporación media anual de 2.500-3.600 mm, y una temperatura máxima media de 26-34°C (MARNR, 1983).

La región semiárida de la depresión Lara-Falcón presenta suelos de escasa profundidad, pedregosos, con afloramientos rocosos, y los órdenes presentes son los Entisoles, Inceptisoles y Aridisoles. Mientras que en la región subhúmeda dominan los afloramientos rocosos y suelos de escasa profundidad de los órdenes Entisoles, Alfisoles, e Inceptisoles (COPLANARH, 1975).

La vegetación predominante está constituida por bosques deciduos y arbustales espinosos, citados en la bibliografía como bosques secos y arbustales xerófilos, parcialmente espinosos (Matteucci *et al.* 1999a). Entre Barquisimeto y Carora se observan extensos cardonales, es decir, arbustales espinosos mezclados con cactáceas columnares arborescentes, como el cardón *Stenocereus griseus*, cactáceas fruticasas, las tunas (*Opuntia* spp.) y los característicos buches (*Melocactus curvispinus*, *Mammillaria* spp.). Entre los elementos arbustivos o arbóreos bajos predominan las leguminosas, con las especies *Prosopis juliflora* (cuji), *Cercidium praecox* (yabo), *Acacia angustissima*, junto con otros elementos leñosos característicos tales como el olivo (*Capparis* spp.) o el trompillo (*Jacquinia frutescens*) (Huber y Oliveira-Miranda, 2010). La ecorregión del bosque seco Lara-Falcón, cuya área total estimada es de 16.900 km², forma parte de las únicas áreas tropicales xerofíticas fragmentadas que quedan en el norte de Venezuela (PNUD, 2005).

I.4.5.2 El Estado Falcón

I.4.5.2 a) Ubicación y descripción general

El estado Falcón (24.750 km²) se encuentra entre los 10°30' y 12°15'N y entre los 69°15' y 71°15'W, y presenta una gran heterogeneidad espacial causada por los gradientes climáticos de temperatura y precipitación y por la geomorfología y su incidencia, junto con el clima, en la formación de los suelos (Matteucci *et al.*, 1999b). En la zona seca de Falcón, que ocupa 47% del territorio estatal (aproximadamente 11.632 km²), los flujos importantes son el balance hídrico, la productividad primaria, la formación de reservas (biomasa reproductiva) y la estabilidad estructural y nutritiva del suelo,

relacionada con el relieve y la geomorfología (Matteucci & Colma, 1988). Se caracteriza por una fisiografía y condiciones climáticas muy variadas, donde destacan las planicies y valles costeros con climas áridos y semiáridos; cerca del 70% está ocupado por las zonas de vida de la maleza desértica tropical, el monte espinoso y el bosque muy seco tropical (Matteucci *et al.*, 1982a). Con respecto a los suelos del estado, hay la presencia de diferentes tipos: en la línea costera son calcáreos, y entre las serranías de Lara y Falcón son franco-arcillosos. Varían en calidad, pero en general la disponibilidad de tierras para la agricultura tradicional puede clasificarse de escasa, con 89% de muy bajo potencial, 3% de bajo potencial y 6% de moderado potencial. Solamente un 2% de ella, ubicadas en valles del Sureste y áreas aluviales, son cuencas con muy alto potencial. Las limitaciones de los suelos áridos y semiáridos provienen de la salinidad, el déficit hídrico provocado por la poca precipitación, la baja concentración de materia orgánica y la influencia de agentes climáticos como el viento (PAN, 2004).

La vegetación de las zonas secas del estado Falcón comprende un conjunto de grupos estructurales primarios (Matteucci *et al.*, 1985) diferenciados por la forma de vida dominante: arbustal, matorral (árboles de altura inferior a 5m), cardonal, bosque (dominados por árboles de más de 5 m) de uno o dos estratos. Aun dentro de un mismo grupo, la arquitectura de la comunidad varía, dependiendo de su cobertura total (desértica, rala o densa). En el estado Falcón domina el clima semiárido de precipitaciones escasas. Las condiciones más rigurosas se expresan en el sector litoral central y Península de Paraguaná. En Coro se registran precipitaciones promedio de 417 mm/año, que suelen descender en años secos con una temperatura media de 28,4°C, mientras que en Punto Fijo se registran 316 mm/año, con temperaturas medias de 27,6°C. Las condiciones desérticas de sequedad extrema, con precipitaciones menores de 300 mm, se reconocen en los litorales occidentales corianos, con temperaturas anuales promedio entre 28 a 29°C (INE, 2011).

Venezuela, el estado Falcón y por ende la Península de Paraguaná, no escapan de las influencias de las alteraciones del sistema climático global. En tal sentido, se presenta el siguiente informe sobre la información existente para los ecosistemas terrestres de una de las zonas más secas del país como es el caso de la Península de Paraguaná.

Los datos e información aquí recopilados son el producto de algunos trabajos de investigación que se han venido realizando en algunas áreas del estado Falcón durante los últimos 10 años. El propósito de este reporte es hacer un relevamiento sobre las principales características del clima, las comunidades vegetales y del suelo, bajo condiciones naturales y de intervención antrópica, que permitan establecer una línea base sobre las reservas de carbono en los ecosistemas y el cambio del uso de la tierra, y más específicamente en lo relacionado a los ecosistemas de zonas áridas e hiperáridas centro-occidentales.

La Península de Paraguaná se ubica en el extremo norte central del estado Falcón (Figura I.4.7), constituye la parte más septentrional de la tierra firme venezolana en el Mar Caribe, abarca aproximadamente unos 2.680 km² de superficie y se encuentra unida al resto del estado Falcón por una estrecha faja de dunas y salinas denominada Istmo de Los Médanos, de unos 33 km de longitud por unos 5 km de anchura. Desde el punto de vista climático, de acuerdo a la clasificación de Holdridge, pertenece a una de las regiones más secas del país, correspondiendo con la zona de vida denominada monte espinoso tropical (me-T). Presenta precipitaciones medias anuales que oscilan entre los 200 mm y 400 mm y evaporaciones medias anuales entre los 2.700 mm y 3.300 mm, condición que la ubica en un clima árido a hiperárido con un marcado déficit hídrico a lo largo del año (Rivas & Mogollón 2015a). Las tierras áridas se definen por el índice de aridez que representa la relación de la precipitación con la evapotranspiración potencial (P/PET) con valores <0,05 para tierras hiperáridas, <0,20 para tierras áridas y de 0,20 a 0,50 para tierras semiáridas (FAO, 2002). Estas son las tierras secas más características, pero a menudo la zona árida subhúmeda (0,50-0,65) también se incluye en la misma (Middleton & Thomas, 1997).

La vegetación comprende un conjunto de grupos estructurales primarios diferenciados por la forma de vida dominante: arbustal, matorral (árboles de altura inferior a 5 m), cardonal, bosque (dominados por árboles de más de 5 m) de uno o dos estratos. Aun dentro de un mismo grupo, la arquitectura de la comunidad varía, dependiendo de su cobertura total (desértica, rala o densa) (Matteucci, 1987). Los suelos que predominan en la Península de Paraguaná, corresponden a los órdenes Entisoles y Aridisoles, siendo los subórdenes más importantes, *Orthents*, *Orthids*, *Torriorthents*, *Camborthids*, y *Calciorthids* (COPLANARH, 1975).

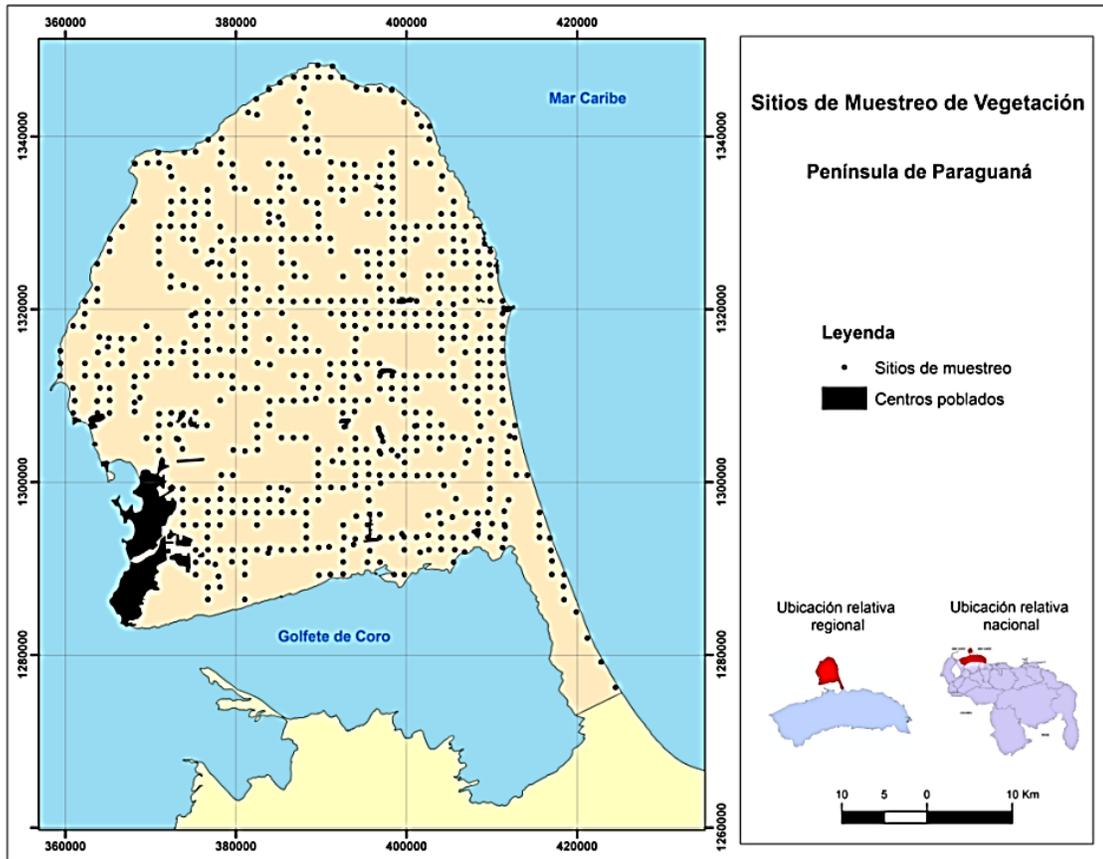


Figura I.4.7 Sitios de muestreo de la vegetación en la Península de Paraguaná, estado Falcón, Venezuela. Fuente: Mogollón, J.P. *et al.*, 2016.

A una escala global, el suelo contiene aproximadamente unas 2.000 Gt de carbono orgánico (CO) en el primer metro de profundidad del suelo, lo cual representa una cantidad de 3 a 4 veces mayor al carbono contenido en la biomasa vegetal terrestre (Birch-Thomsen *et al.*, 2007).

En particular, el carbono orgánico del suelo (COS) es un componente esencial del ciclo global del carbono, ocupando un 69,8% del carbono orgánico de la biosfera (FAO, 2001). En el caso de zonas áridas y semiáridas, las reservas de carbono orgánico en el suelo comprenden un 27% de las reservas globales de COS (Trumper *et al.*, 2008). Por consiguiente, las pérdidas potenciales de carbono de los ecosistemas, relacionadas con la conversión de ecosistemas naturales a agroecosistemas, es mucho mayor en las reservas de carbono del suelo, que el carbono contenido en la biomasa vegetal (Batjes, 2004).

En ecosistemas agrícolas, la calidad del suelo depende en gran medida de la cantidad, calidad y dinámica de las reservas del COS. Una reducción en el contenido del COS puede acentuar la degradación del suelo por erosión, compactación, pérdida de nutrientes, lavado, acidificación y/o salinización, y en general, provocar una disminución en la biodiversidad del suelo (Brady y Weil, 2008).

Las pérdidas del COS en una amplia variedad de suelos y tipos de cultivo varían en un rango entre un 20% y un 70% del CO inicialmente presente, y la mayor parte de estas pérdidas ocurre en los primeros 20 años del cambio de uso de la tierra (Sá *et al.*, 2001; Solomon *et al.*, 2000). La mayoría de los estudios que evalúan la influencia de los cambios de uso de la tierra sobre las reservas de carbono orgánico del suelo, se han realizado en la zona templada, aunque hay que considerar que la tasa de conversión del uso de la tierra fue más rápida durante la segunda mitad del siglo XX en la zona tropical (Houghton *et al.*, 1987). Sin embargo, son pocos los estudios realizados en las zonas tropicales áridas o semiáridas. En estas zonas la tasa de mineralización del CO es muy intensa debido a las condiciones climáticas dominantes; como consecuencia, su fijación en formas estables es reducida, provocando el agotamiento de los suelos y, por lo tanto, su desertificación, tal como lo plantean Martínez *et al.* (2009). Estos autores señalan, además, que el COS puede ser utilizado como un indicador temprano en ecosistemas áridos para evaluar procesos incipientes de desertificación.

Si bien el contenido de carbono y la capacidad de fijar CO₂ por unidad de superficie en las tierras áridas son bajos, pueden de cualquier manera hacer una contribución importante a la captura global de carbono y, al mismo tiempo, prevenir o disminuir la tasa de desertificación. Con esta amplia definición, una gran parte de las tierras áridas se incluye en el área tropical definida como la parte intertropical del mundo, la que representa el 37,2% de la superficie terrestre (4.900 millones de hectáreas).

I.4.5.2 b) Caracterización de la cobertura de la tierra y los inventarios de carbono

Recientemente se realizó un estudio con la finalidad de definir las comunidades vegetales de la Península de Paraguaná, en función de criterios funcionales que permitieron establecer indicadores de cobertura, resistencia a la sequía y protección del suelo contra la erosión de las comunidades establecidas, a fin de construir un índice de calidad de la vegetación con respecto a procesos asociados a la desertificación (Mogollón *et al.*, 2016). Para la concreción de esta propuesta, se realizó un muestreo sistemático en la Península de Paraguaná (Figura I.4.7) que permitió elaborar una descripción cualitativa tomando en cuenta aspectos de la fisionomía, cobertura del dosel, especies dominantes y disposición espacial de las especies. La metodología fue elaborada tomando como base la descripción de la vegetación del estado Falcón (Matteucci, 1987).

Se identificaron las comunidades vegetales mediante un análisis por conglomerados, el cual permitió agrupar la naturaleza geográfica de las especies y de los sitios, usando el índice de similitud de Jaccard (Jaccard, 1908). Luego, para cada agrupamiento se identificaron las especies dominantes de cada estrato, y a partir de éstas se dio nombre a las comunidades vegetales. Los datos de dicho análisis se introdujeron a un sistema de información geográfica (SIG) donde se generó un mapa de comunidades vegetales aplicando el método de interpolación vecino más cercano (Figura I.4.8).

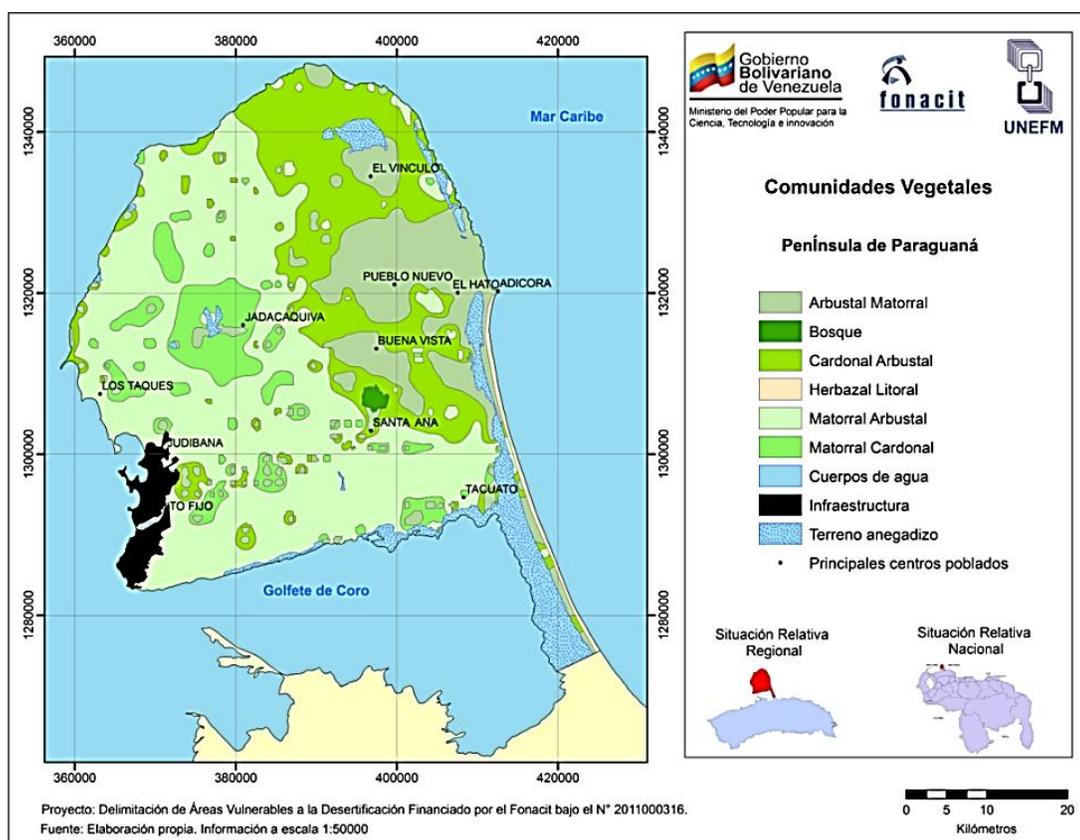


Figura I.4.8 Comunidades vegetales de la Península de Paraguaná, estado Falcón, Venezuela. Fuente: Mogollón, J.P. et al., 2016.

Adicionalmente, se determinó la cobertura vegetal de la Península de Paraguaná a partir del procesamiento digital de una imagen del satélite Landsat 8 del año 2013 de 30 m de resolución. Haciendo uso de las herramientas de análisis espacial del sistema de información geográfica (SIG), se realizó una clasificación supervisada de la imagen a partir de la información de puntos de control tomados en campo. Se consideraron cinco clases de cobertura, de acuerdo con los criterios definidos por la FAO (2005). En la figura I.4.9 se muestran las comunidades vegetales identificadas y delimitadas en la Península de Paraguaná. El nombre de la comunidad vegetal corresponde a las especies dominantes en los estratos que la conforman; además, a partir de los mecanismos y hábitos de vida de cada una de las especies dominantes se estableció el nivel que brinda la cobertura de las mismas en cuanto a la protección contra la erosión, y al mismo tiempo, en función de los aspectos fisiológicos de la especie, su resistencia contra el déficit hídrico atmosférico y en el suelo. Se identificaron de esta manera seis (6) comunidades cuyas características se mencionan a continuación:

- **Matorral arbustal.** Se refiere a una vegetación arbustiva o arbórea baja (entre 3 y 5 m de alto), con dosel irregular, producto de la degradación de bosques naturales por actividad humana (Huber y Alarcón, 1988). En la comunidad del matorral-arbustal el componente leñoso puede tener

apariencia arbustiva. Las especies vegetales dominantes en esta comunidad están representadas por *Prosopis juliflora* (Swartz) D.C. y *Caesalpinia coriaria* Jacq. (Willd.) en el estrato superior, y por *Croton flavens* (L) y *Lippia origanoides* H.B.K. (Kunth) en el sotobosque. El matorral-arbustal cubre una superficie aproximada al 44% de la Península (Tabla I.4.15).

Tabla I.4.15 Áreas correspondientes a diferentes clases de comunidades vegetales.

Comunidad Vegetal	Área (km ²)	%
Arbustal Matorral	463.42	17.29
Bosque deciduo	7.52	0.28
Cardonal Arbustal	619.98	23.14
Herbazal Litoral	22.15	0.83
Matorral Arbustal	1.191.23	44.46
Matorral Cardonal	177.97	6.64
Cuerpos de agua	2.67	0.10
Terreno anegadizo	129.30	4.83
Infraestructura	65.33	2.44
Total	2.679,56	100

Fuente: elaborada por los autores para este trabajo.

- **Matorral cardonal.** Esta comunidad vegetal resulta una variante de los matorrales definidos para las zonas áridas del norte de Venezuela (González, 2007). Las especies más importantes son *Prosopis juliflora* en codominancia con *Stenocereus griseus*; además hay otras especies acompañantes como *Castela erecta*, y *Croton flavens*, formando comunidades donde la altura del dosel no sobrepasa los 5 metros. La comunidad presenta una mayor distribución hacia la zona centro-occidental de la Península de Paraguaná, además de pequeños parches diseminados por toda esta zona occidental. Desde el punto de vista de la cobertura que ofrece esta comunidad vegetal, se puede señalar que la misma se presenta en forma de parches aislados, dominando el sustrato edáfico, lo cual podría ser indicativo de una fuerte presión humana en estos ecosistemas, donde la cría extensiva de ganado caprino constituye la principal actividad económica; esta actividad se realiza sin manejo de rebaños y sin control sanitario, al libre pastoreo de la vegetación seminatural, con las consiguientes consecuencias de sobrepastoreo y pérdidas de la vegetación y el suelo (Matteucci, 1986). Esto hace suponer que la protección del suelo contra la erosión debe ser baja. La superficie ocupada por esta comunidad es de aproximadamente un 7% del territorio peninsular tal como se refleja en la tabla I.4.15.
- **Arbustal matorral.** Comunidades leñosas en las que la cobertura de arbustos supera la de árboles al menos en un 30% (Matteucci, 1987). Las especies dominantes en el estrato superior

están representadas por las especies *Castela erecta* (Turpin), *C. coriaria* y *Stenocereus griseus* Haw. (Buxb.); en el sotobosque domina *L. origanoides*. La [tabla I.4.15](#) muestra que la superficie ocupada por el arbustal-matorral cubre unos 463 km².

- **Cardonal arbustal.** Comunidades en las que las cactáceas columnares ocupan al menos 30% de la cobertura del dosel (Matteucci, 1987). En esta comunidad la especie *S. griseus* es la dominante en cuanto a cobertura, acompañada de *P. juliflora*; además forman parte de la estructura florística otras especies arbustivas como *C. erecta* y *C. coriaria*. En el sotobosque domina la especie *Opuntia caracasana* (Salm-Dyck). Bajo las condiciones ambientales descritas, la comunidad de arbustal-matorral resulta altamente resistente a la sequía, siendo capaz de establecerse bajo las condiciones ambientales anteriormente mencionadas. La comunidad ocupa una superficie de 620 km², lo que equivale a un 23% del área.
- **Bosque deciduo.** Esta comunidad se caracteriza porque al menos 75% de los individuos arbóreos pierden su follaje durante la época de sequía (Oliveira-Miranda *et al.*, 2010). Esta comunidad quedó circunscrita dentro del monumento natural Cerro Santa Ana, específicamente en el piso altitudinal ubicado a los 400 m s.n.m., en lo que corresponde a la zona tropófila; ocupa una superficie de 7.52 km². El dosel de los árboles que conforman el bosque deciduo es parcialmente cerrado, lo que le confiere una gran protección al suelo contra procesos erosivos, originados fundamentalmente de las aguas de escorrentía que se generan en estas zonas de alta pendiente, aunado a las lluvias eventuales de alta intensidad, muy comunes en la región. Las especies que dominan esta comunidad corresponden a *Coccoloba coronata* Jacq. y *Eugenia procera* Hodgson (Sw.), formas de vida arbórea, catalogadas como caducifolias.
- **Herbazal litoral.** Son comunidades en las que domina el estrato herbáceo, cuya cobertura generalmente es abierta. En algunos casos están presentes en depresiones salinas de la costa (herbazal litoral halófito), y en otros cubren dunas arenosas de las playas, normalmente no inundadas por el agua marina (herbazal litoral psamófilo). Estas dos comunidades son pobres en especies (Huber y Alarcón, 1988). En la Península de Paraguaná apenas cubren unos 22 km² lo que equivale aproximadamente al 1% del territorio. La comunidad del herbazal litoral está dominada por las especies *Sporobolus virginicus* L. (Kunth), *Egletes prostrata* (Sw.) Kuntze, *Sesuvium portulacastrum* (L.) y *Gomphrena alba* (Peter), todas catalogadas como especies perennes (Lemus & Ramírez, 2002). En zonas áridas, se determinó que las especies herbáceas perennes son más susceptibles a pérdida de la biomasa aérea durante la temporada de sequía (Vera & Martínez 2014), por lo que disminuye la cobertura vegetal en esta época haciendo más susceptible el suelo a pérdidas por erosión, especialmente la ocasionada por el viento en estas zonas árido-costeras. El sustrato edáfico se caracteriza por ser predominantemente arenoso y

salino (Matteucci *et al.*, 1982b), lo cual contribuye a que exista poca capacidad de retención de humedad y disponibilidad de agua para las plantas, además del estrés hídrico asociado a la acumulación de sales en el suelo. Bajo estas condiciones del medio, las comunidades vegetales establecidas desarrollan una alta resistencia al déficit hídrico del suelo, así como al déficit hídrico fisiológico generado por la elevada concentración de sales (Medina *et al.*, 2008).

Para el caso de las reservas (stock) de carbono en la biomasa tanto en pie, como subterránea no se disponen de datos para las zonas áridas del estado Falcón. Sin embargo, dado que ya se tiene información detallada sobre las comunidades vegetales de la Península de Paraguaná, sería factible establecer algunas parcelas de muestreo dentro de cada una de las comunidades identificadas, a fin de levantar los datos necesarios para estimar biomasa y los respectivos stocks de carbono.

En la [tabla I.4.16](#) se muestran las clases de cobertura vegetal, según criterios de la FAO (2005) que fueron utilizadas para caracterizar la cobertura de vegetación de la Península de Paraguaná. En la [figura I.4.10](#) se muestra el mapa de cobertura vegetal. Un 68% aproximado de la superficie (1.822 km²) presenta tipos de cobertura que van de abiertas a cerradas, la cuales están asociadas fundamentalmente a comunidades de tipo arbustal. Es importante mencionar que estas comunidades están fuertemente intervenidas por sistemas agrícolas representados potencialmente por unos 620 km² (Rivas *et al.*, 2015), lo cual implica una gran presión sobre este arbustal-espinoso en la zona. La cobertura vegetal esparcida cubre aproximadamente un 9% del territorio peninsular y aparece en forma de parches ubicados fundamentalmente hacia la zona costera, tanto la nororiental como la occidental.

Tabla I.4.16 Clases de cobertura vegetal en la Península de Paraguaná.

Clases de cobertura	Cobertura %	Descripción
Cerrada	> 60 %	Compuesta por árboles o arbustos que tiene sus copas interpuestas, tocándose o muy escasamente separadas.
Abierta	20 – 60 %	Las copas de los árboles o arbustos usualmente no se entrelazan. La distancia entre los perímetros de las mismas puede variar hasta dos veces el promedio del diámetro perimetral.
Esparcida	4 - 20 %	La distancia entre dos perímetros de los árboles o arbustos es mayor al doble del promedio del diámetro perimetral.
No vegetada	-	Domina el sustrato edáfico o las coberturas artificiales productos de las actividades humanas (infraestructura), así como cuerpos de agua y áreas inundables. Se puede encontrar vegetación aislada con una cobertura menor al 4%.
Áreas cultivadas	-	La vegetación natural ha sido reemplazada por otros tipos de cobertura vegetal de origen antrópico. Entre una actividad y otra, o antes de empezar el establecimiento de los cultivos, la superficie puede estar temporalmente sin cobertura vegetal.

Fuente: Mogollón *et al.*, 2015a.

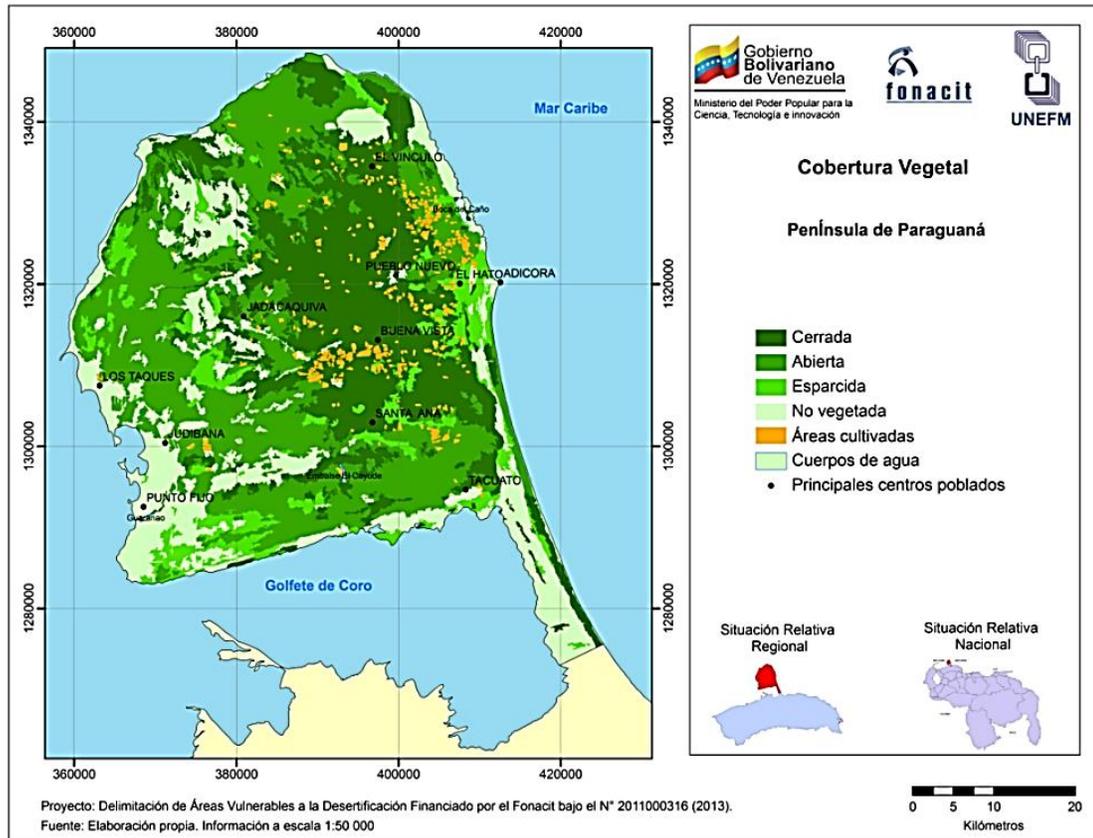


Figura I.4.9 Cobertura vegetal de la Península de Paraguaná. Fuente: Mogollón, J.P. et al., 2016.

Existe una importante superficie de la Península de Paraguaná con áreas no vegetadas, donde domina el sustrato edáfico, la cual cubre un 20% del territorio, y se encuentra ubicada principalmente hacia la zona centro-occidental en el eje El Cayude-Jadacaquiva-Punta Macolla. Estas zonas no vegetadas, junto a las áreas agrícolas representarían zonas de muy baja a moderada calidad de la vegetación en cuanto al índice de cobertura, las cuales suman un 23% de la superficie de la Península de Paraguaná.

I.4.5.2 c) Reservas de carbono en el suelo en la Península de Paraguaná

El almacenamiento de carbono en los suelos y en los ecosistemas terrestres, puede contribuir a mitigar el cambio climático, además de ayudar a reforzar la seguridad alimentaria gracias al aumento del rendimiento agrícola y la eficiencia de los insumos. Lal (2008) ha propuesto que para algunas zonas de Europa Occidental, la puesta en marcha de una serie de prácticas agrícolas (cero labranza, cultivos de cobertura, rotación de cultivos, métodos de riego más eficientes) puede ayudar a capturar en el suelo, entre 200 y 1000 kg de C ha/año (conservar la nomenclatura que está en el texto porque aquí no la puedo reproducir) con un potencial total de 1000 millones de toneladas. El autor también plantea que la

capacidad total de absorción de carbono de los ecosistemas terrestres podría reducir la concentración de dióxido de carbono atmosférico en unas 50 ppp.

Para el caso de zonas áridas, Lal (2001) estimó la pérdida de carbono como resultado de la desertificación. Asumiendo una pérdida de carbono de 8-12 Mg de C ha⁻¹ (Swift *et al.*, 1994) en un área de 1.020.000.000 ha (PNUMA, 1991), la pérdida histórica total de carbono sería de 8-12 Pg C. Del mismo modo, la degradación de la vegetación ha conducido a una pérdida de carbono de 4-6 Mg de C ha⁻¹ en 2.600.000.000 ha, añadiendo hasta 10-16 Pg C. La pérdida total de carbono como consecuencia de la desertificación puede ser de 18-28 Pg C. Asumiendo que dos tercios del carbono perdido (18-28 Pg) pueden ser fijados nuevamente (IPCC, 1996) a través de la restauración del suelo y la vegetación, el potencial de fijación del carbono a través del control de la desertificación es 12-18 Pg C (FAO, 2007; Lal, 2001). Estas estimaciones dan una idea acerca de la pérdida de carbono como resultado de la desertificación y el potencial para el secuestro de carbono por medio de la recuperación de los suelos en las tierras áridas.

Como parte del Proyecto Estratégico denominado “Delimitación de Áreas Vulnerables a la Desertificación en la Península de Paraguaná como Base para la Planificación de la Gestión Ambiental” financiado por el FONACIT (Proyecto N° 2011000316), se levantó información relacionada con el carbono orgánico del suelo (COS) (Mogollón *et al.*, 2015a) en suelos superficiales de la Península de Paraguaná. Para tal fin, se realizó un muestreo sistemático de suelos en toda la Península por medio de una red que permitió tomar un total de 617 muestras que equivale, en promedio, a una intensidad de toma de muestras cada 4 km².

Se utilizó la misma red de muestreo de vegetación mostrada en la [figura I.4.7](#). Una vez procesadas las muestras en el Laboratorio de Suelos de la UNEFM, se elaboró el mapa de concentración de COS. Con esta data se generó el mapa de reservas de carbono en el suelo (t ha⁻¹), con la información de densidad aparente y profundidad efectiva del suelo. Los resultados obtenidos muestran que los suelos de la Península de Paraguaná presentaron valores de carbono orgánico bajos en un 34% de la superficie (908 km²); y valores medios (1,10 a 2,0%) en un 58% del área total de la península (1.549 km²). Apenas un 8% de la superficie (223 km²) presenta altos valores de CO ([Figura I.4.10](#)). De igual manera Mogollón *et al.* (2015b) plantean que el estudio de gradientes altitudinales es importante para comprender la dinámica espacial y temporal de los contenidos y flujos de C, así como para identificar áreas de mayor vulnerabilidad frente al cambio climático. En este sentido, y en vista de la escasa información existente para Venezuela, el estudio realizado tuvo como objetivo evaluar la variación de las reservas del COS, con relación a la altitud, como producto de cambios asociados a la vegetación, a los niveles de precipitación y temperatura en cada uno de los sitios del gradiente.

La vegetación característica de la Península de Paraguaná está representada por arbustales, matorrales espinosos y cardonales (Matteucci y Colma, 1986). Sin embargo, en el territorio que comprende el Cerro Santa Ana, se han identificado otros tipos de vegetación que se corresponden con cinco pisos altitudinales distinguibles en esa zona: la zona xerofítica con bosque muy seco, la zona tropófila con bosque decíduo montano, la zona hidrofítica mesotérmica con selva nublada, la zona de matorral antillano y la zona de vegetación pseudo-paramera (POTEF, 2004; Ataroff & García-Nuñez, 2013).

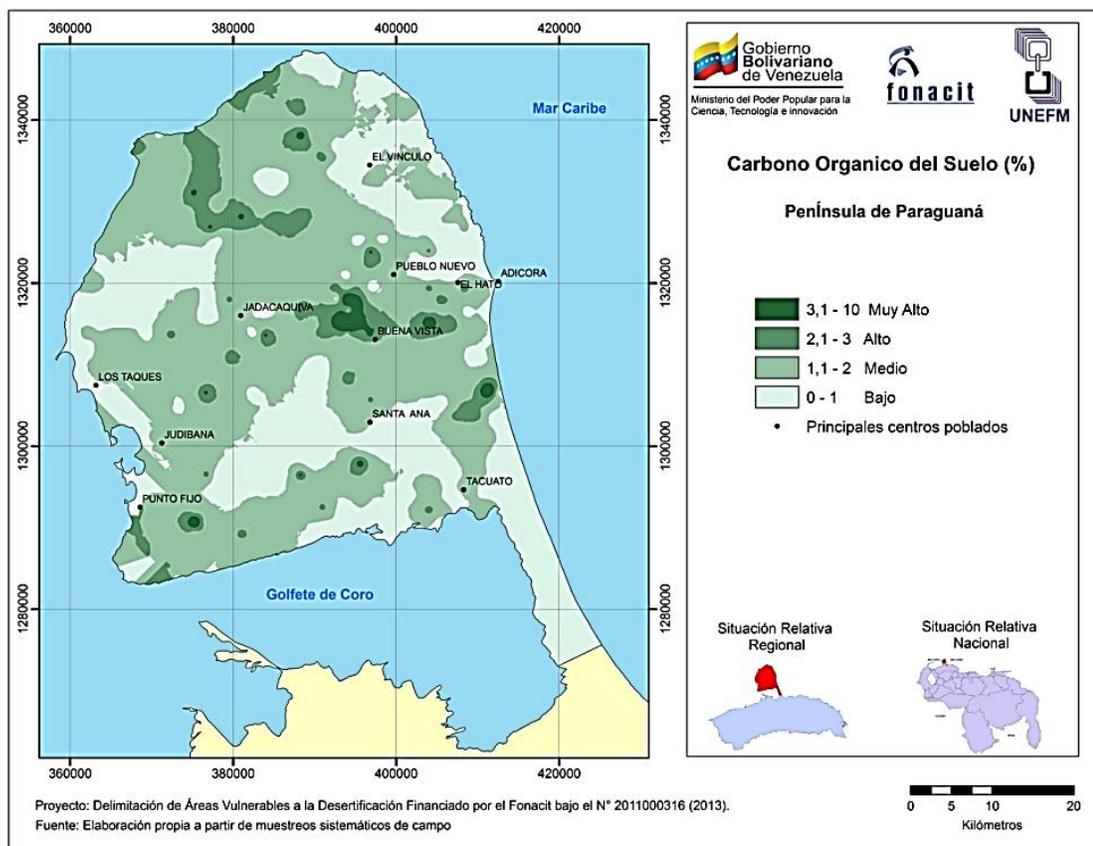


Figura I.4.10 Distribución del carbono orgánico del suelo en la Península de Paraguaná. Fuente: Mogollón, J. P. et al., 2015a.

Hasta la fecha no se había realizado ningún estudio relacionado con la estimación del secuestro de carbono en el suelo en estos tipos de vegetación. En la figura I.4.12, se muestra los diferentes valores promedio de las reservas de COS en las comunidades vegetales estudiadas. Existieron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) en los suelos bajo todas las comunidades vegetales. Los valores más bajos de COS fueron encontrados en los suelos bajo vegetación de herbazal ($10,3 \text{ t ha}^{-1}$) seguido de los suelos con vegetación de matorral dominado por *P. juliflora-C. flavens*, con $21,9 \text{ t ha}^{-1}$; luego el matorral de *P. juliflora-S. griseus*, con $36,7 \text{ t ha}^{-1}$; los suelos con arbustal de *C. erecta-C. coriaria* tuvieron valores de 47 t ha^{-1} , y los valores más altos en los suelos bajo vegetación de bosque seco y con

vegetación de bosque decido (63 y 92 t ha⁻¹, respectivamente). Algunas investigaciones realizadas en zonas áridas, reflejan el efecto del tipo de vegetación sobre las reservas del COS (Schimel *et al.*, 1994; Yang *et al.*, 2014), las cuales de manera general plantean que el nivel de C en el suelo puede ser controlado entre otros aspectos, por las dominancias de algunas especies dentro de las comunidades vegetales. Entre las variables relacionadas con el tipo de vegetación y su influencia en la acumulación de carbono en el suelo, están la cantidad y calidad de la hojarasca que ingresa y la velocidad de descomposición de la misma, lo cual depende de las especies dominantes (Buurman *et al.*, 2008).

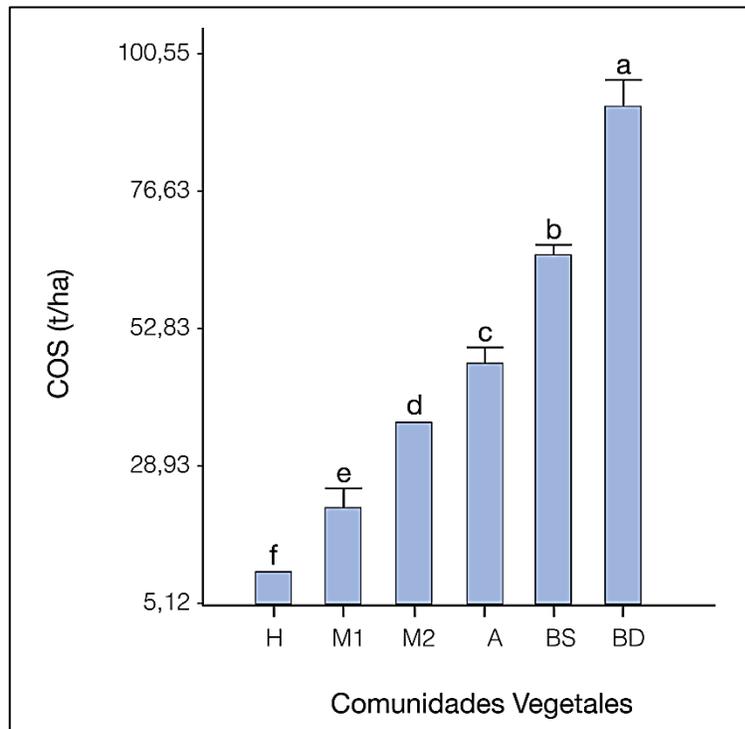


Figura I.4.11 Reservas de carbono orgánico en el suelo superficial (0-25 cm) por tipo de vegetación. H: herbazal dominado por *Sporobolus virginicus* y *Egletes prostrata*; M1: matorral dominado por *Prosopis juliflora* y *C. flavens*; M2: matorral dominado por *P. juliflora* y *S. griseus*; A: arbustal dominado por *C. erecta* y *Caesalpinia coriaria*; BS: bosque seco dominado por *P. juliflora* y *A. arubensis*; BD: bosque decido dominado por *C. coronata* y *E. procera*. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$). Fuente: Mogollón, J. P. *et al.*, 2015b.

I.4.5.2 d) Dinámica del ciclo del carbono en los ecosistemas vegetales de la Península de Paraguaná.

Para el caso de las comunidades vegetales estudiadas en las zonas áridas de la Península de Paraguaná, podría considerarse que los matorrales son ecosistemas altamente perturbados siendo las comunidades más alteradas en la península (Mogollón *et al.*, 2016), presentando las especies dominantes una muy baja cobertura individual, lo cual implica una cobertura predominantemente abierta y/o esparcida en el área de influencia del matorral. Esto favorece el establecimiento en el sotobosque de especies deciduas poco resistentes a la sequía, tal es el caso de *C. flavens* y *L. origanoides*, las cuales

hacen uso del recurso hídrico de manera estacional y superficial, por lo cual el sustrato edáfico queda al descubierto en las épocas de extrema sequía; esto podría favorecer pérdidas del COS, dando lugar a una considerable emisión de CO₂. Habría que considerar, además, que los matorrales cubren un 50% de la superficie total de la Península de Paraguaná. La fuerte presión humana que presentan los matorrales en la zona están asociadas a la cría extensiva de ganado caprino, la cual constituye la principal actividad económica en el área de distribución geográfica del matorral; esta actividad se realiza sin manejo de rebaños y sin control sanitario, al libre pastoreo de la vegetación seminatural, con las consiguientes consecuencias de sobrepastoreo y pérdidas de la vegetación y el suelo (Matteucci, 1986).

El herbazal litoral posee unas características particulares, tales como baja diversidad de especies, con cobertura abierta, creciendo sobre sustratos altamente salinos y arenosos (Huber y Alarcón, 1988), las cuales favorecen una baja retención de carbono en el suelo (aproximadamente 10 t ha⁻¹ según Mogollón *et al.*, 2015b). Aunada a esta situación, está el hecho de que estos ecosistemas se encuentran en situación de vulnerables para el estado Falcón (Oliveira-Miranda *et al.*, 2010), afectados principalmente por los desarrollos urbanos, turísticos, agropecuarios (incluyendo la instalación de camaroneras) e industriales, que se dan en las costas del país, en especial cuando éstos implican la modificación de la franja litoral. Adicionalmente, su composición específica en muchos casos se ve afectada por la presencia de contaminantes en el agua o cambios en la concentración de sales, debidos a diferentes actividades humanas. Otra de las amenazas más comunes es la instalación de vertederos de desechos sólidos (basureros), sin los respectivos controles. Todas las situaciones descritas están presentes actualmente en la costa oriental y occidental de la Península de Paraguaná, lo que podría propiciar una reducción de estas comunidades vegetales, y por ende generar una pérdida significativa del carbono almacenado en el suelo.

El bosque seco y bosque deciduo como parte de los ecosistemas terrestres ubicados en la Península de Paraguaná estarían funcionando como sumideros de carbono; particularmente en el compartimento suelo se han reportado datos de reservas de C de aproximadamente entre 63 y 92 t ha⁻¹. A pesar de que estos ecosistemas han sido catalogados a nivel nacional en situación de peligro crítico (Oliveira-Miranda *et al.*, 2010), para el caso estudiado, estas comunidades vegetales se encuentran dentro de un área protegida de conservación como es el monumento natural Cerro Santa Ana. En la literatura se señala que los ecosistemas boscosos fijan por lo menos 25% del carbono (CO₂) proveniente de la combustión de combustibles fósiles (Malhi *et al.*, 1999). La mayoría de los modelos climáticos también indican que los sumideros de carbono aumentarán durante la primera mitad del presente siglo, debido a una extensión de la cobertura forestal.

El arbustal espinoso es una comunidad vegetal cuya composición florística está conformada por cactáceas, arbustos y arbolitos bajos (usualmente <5 m de alto), la mayoría provistos con espinas

I.4 (Huber & Alarcón, 1988). En el caso de la Península de Paraguaná, los arbustales estarían representados en las comunidades identificadas como arbustal-matorral y cardonal-arbustal, que cubren una superficie aproximada de 40% del total de la zona (unos 1.083 km² en conjunto). Están ubicados geográficamente hacia la zona oriental de la península (Figura I.4.8), coincidiendo con la zona de mayor actividad agrícola en la región peninsular (Rivas *et al.*, 2015). Este tipo de ambiente, asociado a condiciones de aridez y a baja estabilidad y capacidad de carga por la simplicidad en su estructura, ha tenido escasa atención y sujeto por años a fuerte modificación antrópica. La cría de ganado caprino desde tiempos coloniales en tierra firme y en las islas, es la principal actividad de producción en estas zonas (Matteucci y Colma, 1997). Esta práctica ha incidido en la aceleración de la pérdida del suelo, cuya naturaleza es altamente susceptible. La extracción de madera a partir de especies como el cardón (*Subpilocereus repandus*), el cují (*Prosopis juliflora*), la vera (*Bulnesia arborea*), la mora (*Maclura tinctoria*), el dividive (*Caesalpinia coriaria*) y el palo brasil (*Haematoxylum brasiletto*) ha ocasionado degradación y pérdida de cobertura vegetal del arbustal espinoso en el país (Matteucci, 1986).

El uso del cují y de otras especies arbóreas de la selva veranera decidua ha convertido a los centros poblados en núcleos de áreas desérticas que se expanden radialmente y al unirse entre sí forman amplias zonas desertificadas. En las zonas secas, la falta de madera para uso humano y la desaparición del bosque como protector del suelo, constituyen un problema socioeconómico aún más grave que la carencia de agua (Matteucci *et al.*, 1991). El alto nivel de intervención para los arbustales espinosos es una condición reportada por diferentes autores (Matteucci, 1986; Matteucci, 1987; Soriano y Ruiz, 2003; Fajardo *et al.*; 2005), de tal manera que han sido catalogados en el Libro Rojo de los Ecosistemas Terrestres de Venezuela (Rodríguez *et al.*, 2010) como ecosistemas en peligro crítico.

I.4.5.2 e) Emisiones de CO₂ desde los ecosistemas de zonas secas

A escala global, la respiración del suelo en los ecosistemas terrestres está estimada en 50-75 Pg C año⁻¹ (Houghton y Woodwell, 1989). Las tasas medias de respiración varían entre los diferentes biomas. Las tasas más bajas se encuentran en los biomas más fríos y secos (tundras y desiertos), y las mayores ocurren en los bosques húmedos tropicales, donde la temperatura y la disponibilidad de humedad son altas todo el año.

Para el caso de la Península de Paraguaná, estos ecosistemas representan un sumidero importante de COS con valores aproximados entre 42-57 t ha⁻¹ (Mogollón *et al.*, 2015b). Sin embargo, la fuerte presión antrópica que existe actualmente sobre estas comunidades los hace altamente vulnerables, pudiendo llegar a ser considerados como una fuente importante de emisiones de CO₂ producto del cambio de uso de la tierra, fundamentalmente hacia la conversión de sistemas agrícolas vegetales y el pastoreo de manera extensiva por la ganadería caprina.

Para poder favorecer el proceso de secuestro de carbono en suelos, en un determinado tipo de ecosistema, es fundamental conocer cuáles son los factores que gobiernan la respiración del suelo y el impacto que tienen los diferentes usos en la emisión de CO₂ (Mendiara, 2012). La agricultura es una de las principales actividades emisoras de gases de efecto invernadero. Según datos del IPCC (2007), el sector agrícola a nivel mundial emitió el 14% de total de gases con efecto de invernadero (GEI). Por otra parte, se ha señalado que el papel de los suelos agrícolas en la dinámica de emisión de los GEI está fuertemente condicionado por los cambios en los usos del suelo (Guo y Gifford, 2002).

En la Península de Paraguaná, se han realizado algunas estimaciones bajo condiciones controladas de laboratorio de la tasa de emisión de CO₂ en suelos agrícolas y bajo vegetación natural en el área de estudio. En tal sentido, Maseda (2013) realizó una investigación para comparar la respiración edáfica (RE) en suelos con vegetación natural (fundamentalmente vegetación de arbustal y cardonal) y bajo diferentes usos de la tierra. Los valores encontrados oscilaron entre 26,38 a 32,50 µg C-CO₂/g de suelo día⁻¹, para los suelos con vegetación natural en la cual no se encontraron diferencias significativas, y los suelos con diferentes usos agrícolas de 10,11 a 15,11 µg C-CO₂/g de suelo día⁻¹, encontrándose diferencias significativas entre los usos ($p \leq 0,05$) (Tabla I.4.17). En el caso del suelo con vegetación natural y el suelo de uso exclusivo para la siembra intensiva del melón, se encontraron valores de 26,38 µg C-CO₂/g de suelo día⁻¹ y de 10,11 µg C-CO₂/g de suelo día⁻¹, respectivamente, generándose una reducción de un 61,7% de la RE; los resultados obtenidos indican que en el suelo con vegetación natural existe una mayor actividad de los microorganismos del suelo.

Tabla I.4.17 Variación de la respiración edáfica (producción de CO₂) por efecto de uso de la tierra en suelos de la Península de Paraguaná, estado Falcón.

Variable	Usos					
	Vn-ma*	Maíz	Vn-me*	Melón	Vn-sa*	Sábila
RE* (µg C-CO ₂ /g día)	30,48 c	13,09 a	26,38 bc	10,11 a	32,50 c	15,11 ab

* RE: respiración basal del suelo; Vn-ma: vegetación natural referente al maíz; Vn-me: vegetación natural referente al melón; Vn-sa: vegetación natural referente a la sábila. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$) según la prueba de Tukey (n = 47).

Fuente: Maseda, 2013.

Torres *et al.* (2006) indican que los mayores valores de RE se alcanzan en los suelos que se encuentran en condiciones de descanso o no perturbados. Sánchez *et al.* (2005), Martínez *et al.* (2008) y Mogollón & Martínez (2009), vinculan altos valores de RE con altos contenidos de CO, ya que esto se traduce en una mayor fuente de energía y de nutrientes para los microorganismos, la cual será reflejada con una mayor producción de CO₂; esto indica que este parámetro es un buen indicador de la actividad de los microorganismos aeróbicos del suelo. Por otro lado, Mogollón & Martínez (2012), afirman que

valores bajos en las emisiones de CO₂ registrados en suelos de zonas áridas y semiáridas estarían influenciados por valores altos de salinidad, ya que la misma inhibe la actividad biológica del suelo

I.4.5.2 f) Procesos de cambio del uso de la tierra durante las últimas décadas y su impacto en el ciclo regional del carbono en la Península de Paraguaná

Los usos de la tierra y las prácticas agrícolas afectan considerablemente el nivel de COS (Espinoza *et al.*, 2007). La agricultura orgánica y los pastos han demostrado elevar el tenor de COS, no así los usos convencionales que incluyen la perturbación del suelo (Julca-Otiniano *et al.*, 2006). En suelos arados, la materia orgánica del suelo es fuertemente humificada y microbiológicamente alterada, lo que indica una rápida descomposición del material fresco o una baja protección por la agregación. La tasa de pérdidas de C del suelo, por cambios en el uso de la tierra, depende de varios factores: intensidad de la labranza, rotación de cultivos (Espinoza, 2010), drenaje del suelo, así como la textura (Acevedo *et al.*, 2014). En las sabanas venezolanas se han estimado pérdidas de 18,66 Tg C como consecuencia de la actividad agrícola en un período de 10 años (San José & Montes, 2001).

En la zona de la Península de Paraguaná, se han realizado algunos estudios relacionados con el impacto de los cambios de uso de la tierra sobre la materia orgánica del suelo (MOS). En tal sentido, en una investigación realizada por Mogollón *et al.* (2015c) se observó una disminución del COS en los diferentes tipos de uso de la tierra bajo sistemas agrícolas en comparación con las parcelas con vegetación natural, la cual estuvo en un rango entre 20 y 86% producto del manejo agrícola (Tabla I.4.18 y Tabla I.4.19). Las mayores pérdidas de COS se encontraron en los sistemas con manejo convencional (con alto uso de insumos agrícolas y mecanización), con valores entre un 51% hasta un 86% de pérdidas del carbono total del suelo. Es importante acotar, que las mayores pérdidas del COS se encontraron en los suelos con texturas medias (Fa, aF, F), resaltando de esta manera el papel que tiene el contenido de arcillas en el proceso de estabilización de la materia orgánica del suelo (Krull *et al.*, 2001). Otro aspecto que podría estar relacionado con esta mayor disminución del COS en los suelos de textura liviana estaría relacionado con la mayor erosión encontrada en estos agroecosistemas, lo cual ha sido señalado por Mogollón *et al.* (2001), produciendo una pérdida de la capa superior del suelo, y una disminución del CO.

Los valores de COS encontrados en suelos de la Península de Paraguaná resultan ser bastante bajos, lo cual podría atribuirse al hecho de que el proceso de mineralización del carbono orgánico es muy intenso en suelos de zonas semiáridas, debido a las condiciones climáticas reinantes (altas temperaturas y baja disponibilidad de humedad). Esto trae como consecuencia que se fije muy poca cantidad de carbono en formas estables, provocando un agotamiento de la MOS a corto y mediano plazo. Según lo que reportan Mogollón *et al.* (2015c), al momento de generarse cambios de uso de la tierra, desde sitios con vegetación natural, hacia agroecosistemas con cultivos de melón, se han llegado

a registrar valores de pérdida de las reservas de COS de hasta un 85% en términos de tiempo relativamente cortos, de aproximadamente 10 años. Los resultados encontrados coinciden con los expuestos por otros autores, quienes hacen mención a la pérdida del carbono en ecosistemas semiáridos, tanto en el continente europeo, asiático como en el americano (Hontoria *et al.*, 2004; Wang *et al.*, 2004; Bogdonoff *et al.*, 2000).

Tabla I.4.18 Áreas estudiadas con sus principales tipos de uso de la Tierra y características edafoclimáticas.

Localidad	Uso de la Tierra	Tiempo bajo el Uso	Coordenadas Geográficas	Municipio	Precipitación promedio/año	Clase Textural	Zona de Vida
El Taparo 1 (ET1)	Sábila a tempero sin fertilización labranza mínima	5 años	1.299.988 N 374.397 E	Carirubana	250	Fa	Monte Espinoso Tropical
El Taparo 2 (ET2)	Melón con riego por goteo, manejo convencional y fertilización química	10 años	1.299.617 N 376.689 E	Carirubana	250	Fa	Monte Espinoso Tropical
Cuabana 1 (C1)	Maíz asociado con frijol a tempero; labranza reducida sin fertilización.	20 años	1.319.563 N 398.328 E	Falcón	423	FA	Monte Espinoso Tropical
Cuabana 2 (C2)	Melón, riego por goteo, manejo convencional, fertilización química	8 años	1.320.125 N 397.329 E	Falcón	423	FA	Monte Espinoso Tropical
Cruz Verde (CV)	Patilla, riego por goteo, manejo convencional, fertilización química	12 años	1.306.487 N 401.007 E	Falcón	440	Aa	Bosque Muy Seco Tropical
Jadacaquiva 1 (J1)	Melón, riego por goteo, manejo convencional, fertilización química	12 años	1.315.620 N 383.336 E	Falcón	290	F	Monte Espinoso Tropical
Jadacaquiva 2 (J2)	Sábila a tempero, sin fertilización y labranza mínima	6 años	1.315.719 N 383.360 E	Falcón	290	F	Monte Espinoso Tropical
El Rodeo (ER)	Melón riego por goteo, manejo convencional, y fertilización química	10 años	1.301.718 N 405.776 E	Carirubana	440	aF	Monte Espinoso Tropical

Fuente: Mogollón *et al.*, 2015c.

Al respecto, Celaya & Castellanos (2011) señalan que la utilización de los ecosistemas áridos por el hombre puede ocasionar perturbaciones que rompen el equilibrio en los procesos del suelo, su capacidad autoreguladora y el reciclaje de materia orgánica y nutrientes, pudiendo favorecer pérdidas del carbono orgánico del sistema y de fertilidad del suelo, producto de la deforestación, establecimiento de cultivos, y el sobrepastoreo del ganado.

Tabla I.4.19 Valores de Carbono orgánico, carbono de la biomasa microbiana y relación de pérdida porcentual del COS y el C-BM en las áreas estudiadas según el tipo de uso de la tierra, con respecto al control.

Localidad	Uso de la Tierra	COS (%)	C-BM ($\mu\text{g C g}^{-1}$ suelo)	%COS perdido con respecto al control	% CBM perdido con respecto al control
ET1	Sábila a tempero sin fertilización labranza mínima	1,40b	245,0 b	39,13	32,97
ET2	Melón con riego por goteo, manejo convencional y fertilización química	0,32c	138,0 c	86,09	62,24
ET Control	Bosque secundario dominado por <i>Prosopis juliflora</i>	2,30 a	365,5 a		
C1	Maíz asociado con frijol a tempero; labranza reducida sin fertilización.	2,20b	325,5 b	20,00	28,50
C2	Melón, riego por goteo, manejo convencional, fertilización química	1,25c	235,0 c	54,55	48,37
C Control	Bosque secundario dominado por <i>Cercidium praecox</i>	2,75a	455,2 a		
CV	Patilla, riego por goteo, manejo convencional, fertilización química	0,85b	254,0 b	51,40	35,90
CV Control	Bosque secundario dominado por <i>Prosopis sp.</i> ; además hay presencia de <i>Opuntia sp.</i> , <i>Caesalpinia coriaria</i> , y <i>Jacquinia aristata</i> .	1,75 ^a	396,5 a		
J1	Melón, riego por goteo, manejo convencional, fertilización química	0,85 b	36,50 b	57,10	68,40
J2	Sábila a tempero, sin fertilización y labranza mínima	1,10 a	60,30 a	44,40	47,80
J Control	Bosque secundario dominado por <i>P. juliflora</i> y <i>Ritterocereus sp.</i>	1,98 a	115,5 a		
ER	Melón riego por goteo, manejo convencional, y fertilización química	0,29 b	34,50 b	74,80	42,70
ER Control	Bosque secundario dominado por <i>Prosopis juliflora</i> y <i>Caesalpinia coriaria</i> ; además hay presencia de <i>Stenocereus sp.</i> , y <i>Opuntia sp.</i>	1,15 a	60,25 a		

Fuente: Mogollón *et al.* 2015c.

I.4.5.2 g) Impacto del cambio climático sobre los ecosistemas y diversidad regional

- Efectos detectados del cambio climático sobre la dinámica de los ecosistemas o agroecosistemas de la región

La Península de Paraguaná se caracteriza por poseer un clima que va de árido a hiperárido, con precipitaciones escasas (350 mm al año), altas temperaturas entre 28°C y 32°C, una alta evaporación (2000 mm al año) y fuertes vientos (Rivas & Mogollón, 2015b). Características que, aunque limitan la disponibilidad de agua, han dejado de ser un obstáculo para el desarrollo agrícola de la región, a partir de la explotación de los acuíferos de la zona, aunque actualmente ya existen algunas limitaciones producto de la contaminación salina de los mismos (Fernández *et al.*, 2011).

Históricamente, dicha producción agrícola se ha visto afectada por el fenómeno de la sequía, con consecuencias económicas y sociales de variada magnitud, siendo el antecedente más notable el que

tuvo lugar entre los años 1911 y 1912. El prologando déficit hídrico generó la escasez de alimentos, la hambruna y muerte de cientos de personas (Padilla, 2012), situación que revela la vulnerabilidad de la zona frente a este evento climático adverso. Precisamente una de las situaciones que genera mayor vulnerabilidad ante el cambio climático, está asociada a los cada vez más prolongados períodos de sequía que vienen ocurriendo en zonas áridas, de las cuales no escapa la Península de Paraguaná. Especialmente la denominada sequía agrícola, la cual se considera un efecto de las sequías meteorológicas e hidrológicas, y que ocurre cuando por un período de tiempo no hay suficiente humedad en el suelo que permita el desarrollo de determinado cultivo (Valiente, 2001).

El monitoreo de la sequía agrícola adquiere especial relevancia al considerar que, dentro del sector productivo, la agricultura es la primera actividad que resulta afectada por la escasez de precipitaciones, ya que gran parte de las pequeñas unidades de producción no tienen acceso a los sistemas de riego, por lo que cultivan bajo seco. Según Ovalles *et al.* (2007) sólo el 5,7% del aprovechamiento agrícola de las tierras venezolanas se realiza bajo riego; en consecuencia, la producción es altamente vulnerable a la ocurrencia de sequías extremas.

En Venezuela, son pocos los estudios que se han realizado con el fin de generar información que permita el monitoreo y evaluación de la sequía agrícola, los estudios existentes se han orientado hacia la descripción de la sequía meteorológica (Paredes, 2012; Hernández, 2008; Paredes *et al.*, 2008; Mendoza & Puche, 2007). Rivas *et al.* (2015) realizaron un trabajo cuyo objetivo fue caracterizar la intensidad, duración y distribución espacial de la sequía agrícola en la zona de producción de cultivos de la Península de Paraguaná (Figura I.4.12), que permitiera a futuro ampliar el conocimiento del fenómeno de las sequías en la región, y como éstas se relacionan con el cambio climático. Los autores seleccionaron un período de 30 años de registros bastante completo (entre 1971-2000) con un 8% de registros faltantes (Figura I.4.13) durante el cual se dió la ocurrencia de dos fenómenos “El Niño”, los cuales fueron catalogados como extremadamente intensos; uno ocurrido en los años 1982-1983 y el otro en el período 1997-1998 (Magrin *et al.*, 2007; Haylock *et al.*, 2006).

La revisión de la literatura indica que la ocurrencia de las sequías de los años 1987 y 1998 en el área de estudio se corresponde con eventos del fenómeno de El Niño (Monasterios *et al.*, 2011). Aunque aún no existen estudios concluyentes debido a la variabilidad de los efectos de El Niño sobre el territorio venezolano, Lozada (2002) reporta una influencia negativa del mismo sobre las precipitaciones en la región centro-occidental de Venezuela, que pudiera estar asociada a cambios en los vientos en la superficie del Pacífico Ecuatorial. Dicha situación se corrobora con el planteamiento de CAF (2000), que afirma que en las cuencas de la vertiente noroccidental del Mar Caribe pertenecientes a los estados Falcón y Lara, las condiciones de déficit de lluvia que se mantuvieron durante 7 meses estuvieron relacionados con el evento de El Niño en el período 1997-1998.

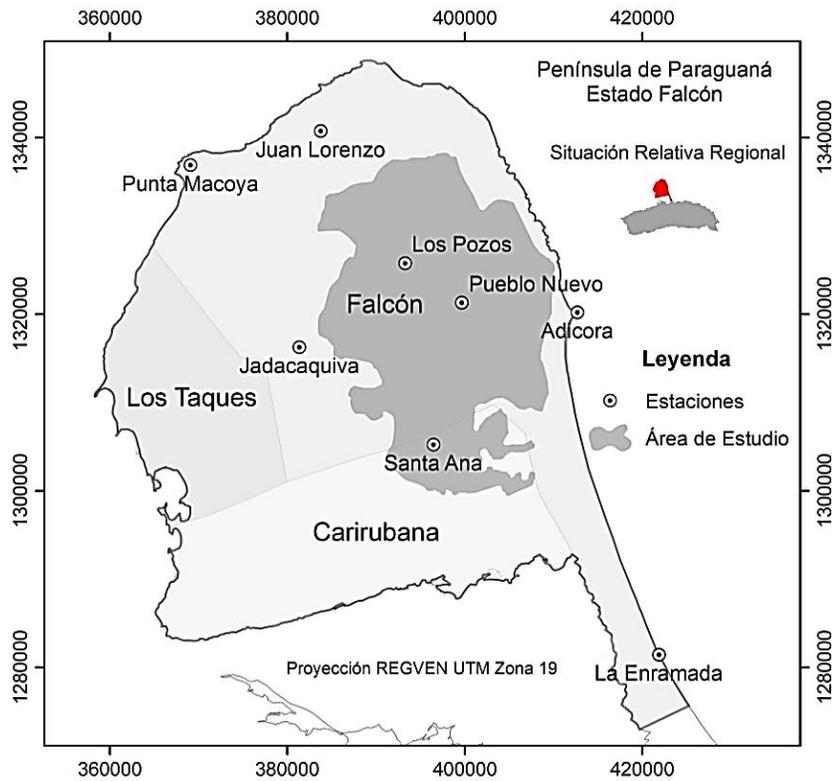
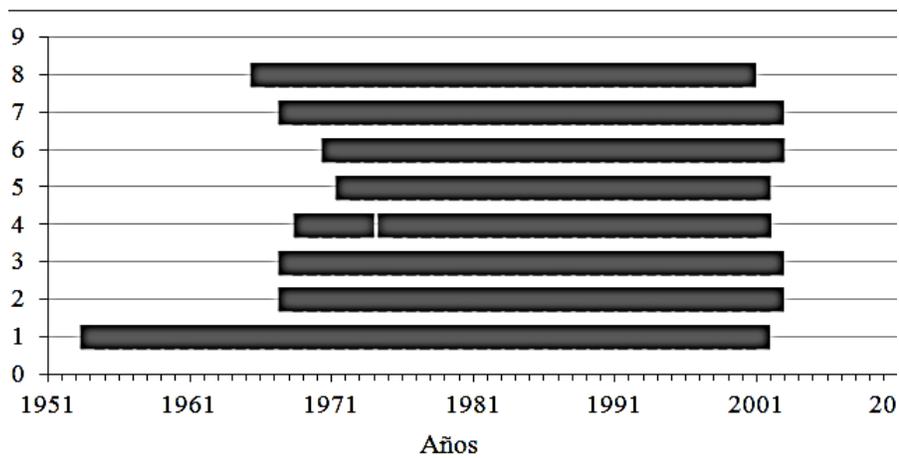


Figura I.4.12 Zona de producción de cultivos de la Península de Paraguaná y localización de las estaciones climáticas. Fuente: Rivas *et al.*, 2015.



1. Adicora, 2. Jadacaquiva, 3. Juan Lorenzo, 4. La Enramada, 5. Los Pozos, 6. Pueblo Nuevo, 7. Punta Macoya, 8. Santa Ana.

Figura I.4.13 Años de registro de las estaciones climáticas ubicadas en la Península de Paraguaná. Fuente: Rivas *et al.*, 2015.

Si bien no se cuenta con referencias de evidencias de impactos socioeconómicos sobre el sector agrícola, no se descarta la posibilidad de que puedan haber tenido o tengan en un futuro, efectos negativos sobre los recursos hídricos. Bajo estas situaciones de sequía se espera una reducción de los rendimientos de la actividad agrícola animal y vegetal que se desarrollan en la zona. Sin embargo, dicha

situación puede ser subsanada por los productores, si la misma es detectada a tiempo y se cuenta con las tecnologías y prácticas de manejo apropiadas para tal fin. En este punto entran en juego las políticas del Estado orientadas a reducir las amenazas climáticas y vulnerabilidades del entorno, fomentando la capacidad de una adecuada gestión del suelo y del recurso hídrico. Esto implica la adaptación y aplicación de sistemas de manejo, que permitan el uso eficiente del agua, el empleo de técnicas que mejoren la capacidad hidrológica de los suelos y el cultivo de rubros de bajos requerimientos hídricos.

I.4.5.2 h) Conclusiones y recomendaciones

- La resiliencia de numerosos ecosistemas se verá probablemente afectada en el presente siglo por una combinación sin precedentes de cambio climático, perturbaciones asociadas (por ejemplo, inundaciones, sequías, incendios incontrolados), y otras causantes del cambio global (por ejemplo, cambio de uso de la tierra, sobreexplotación de recursos), situaciones que entre otras ya se vienen manifestando en las zonas áridas del estado Falcón, y específicamente en la Península de Paraguaná. La tasa de incorporación de carbono neta de los ecosistemas terrestres, tal como ha sido establecido en la literatura, alcanzará probablemente un máximo antes de mediados del siglo XXI; sin embargo, luego podría debilitarse o incluso invertirse, amplificando de ese modo el cambio climático.
- Para el caso de las zonas áridas de la Península de Paraguaná, de seguirse con las mismas prácticas de manejo agrícola implementadas hasta ahora, especialmente en el uso de la tierra para cucurbitáceas con fines de exportación bajo un esquema altamente intensivo en el uso de los recursos (suelo, agua, fertilizantes, plaguicidas) de manera poco sustentable, que propicia la pérdida del COS de manera significativa en tiempos relativamente muy cortos, se crearía una situación que podría contribuir significativamente a la emisión de cantidades importantes de GEI a la atmósfera, fundamentalmente CO₂.

I.4.5.3 Características edáficas en el estado Lara y potenciales riesgos ante el cambio climático

Quiñonez & del Pozzo (2008), señalan que, en Venezuela, las áreas más extensas actualmente sometidas a procesos de degradación son aquellas ubicadas en las regiones semiáridas de Falcón y Lara al noroccidente del país, lo que genera problemas de pérdida de fertilidad de suelos, salinidad y desertificación (Torres *et al.*, 2009; Mogollón *et al.*, 2015). Particularmente en el estado Lara, existen grandes zonas áridas y semiáridas que están actual y potencialmente sujetas a severos procesos de degradación del suelo, incluyendo la erosión (Toledo *et al.*, 2013), la degradación estructural (Pulido *et al.*, 2009), salinización del suelo y contaminación por agroquímicos (Pierre *et al.*, 2007), el agotamiento y la contaminación del suelo superficial.

A pesar de la importancia de estas tierras para la producción agrícola, así como las presiones a las cuales están sometidas, los trabajos de investigación y la caracterización de los suelos son limitados, porque la planificación del uso de las tierras es difícil, lo cual afecta a los tomadores de decisiones. Sin embargo, existe información puntual, acumulada a lo largo de los años, que no ha sido sistematizada.

Por lo tanto, el objetivo de este apartado es describir las características de los suelos e identificar los principales problemas edáficos que pueden afectar la productividad agrícola. Estos se han acentuado en los Estados Falcón y Lara por el cambio climático, que lleva a una disminución del carbono orgánico, pérdida de la cobertura vegetal y fertilidad potencial del suelo. Este problema será abordado en dos áreas semiáridas del estado Lara, al noroccidente de Venezuela: la depresión de Quíbor y la depresión de Carora.

I.4.5.3 a) Depresión de Quíbor

La depresión de Quíbor, la cual se caracteriza por tener 11 series de suelo (SHYQ-UCLA, 2006), entre ellas las series: Chaimare (8%), Quíbor (30%) y Palo Negro (3%) que abarcan aproximadamente 37.286 ha (Pérez *et al.*, 1995 y SHYQ-UCLA, 2006). El clima en la depresión de Quíbor es seco con un régimen bimodal con un período húmedo principal hacia mayo-junio y uno secundario, pero mucho menos importante, hacia octubre-noviembre (Figura I.4.14). La zona se caracteriza por presentar marcados períodos de sequía, los cuales son catalogados según Olivares (2016) como de sequía extrema (SPI-2 o menos), intensidad severa (SPI entre -1,99 a -1,5), moderada (SPI entre -1,49 a -1) y leve > -1.

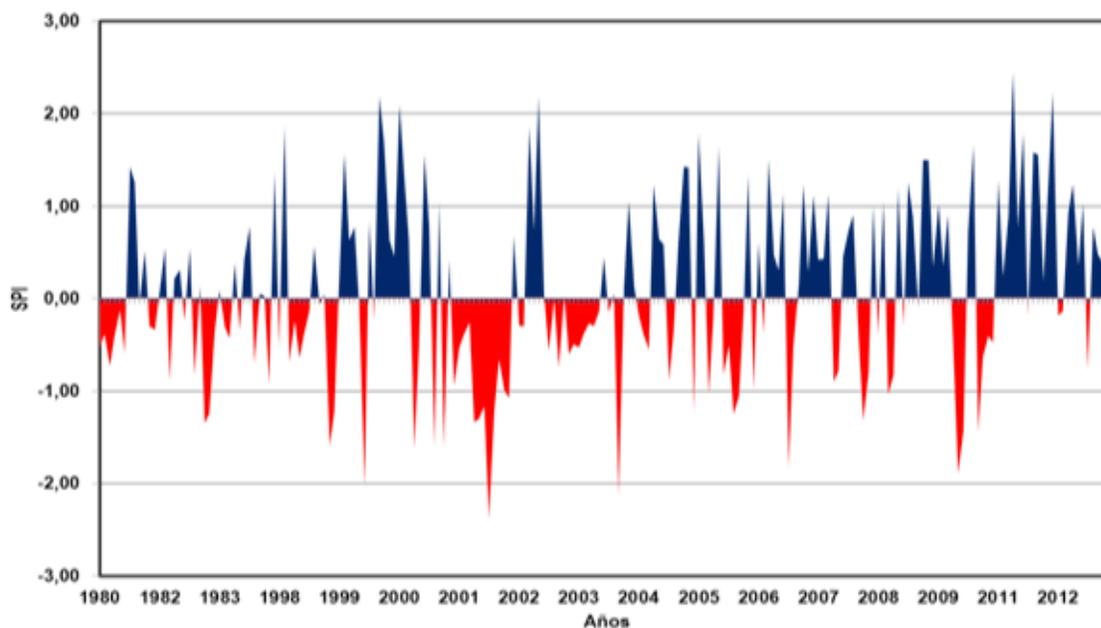


Figura I.4.14 Índice de precipitación estandarizado (SPI) en la estación climatológica Quíbor durante el período 1980-2012. Figura D. Torres, en Olivares, 2016.

Calidad de suelos en la depresión de Quíbor

El comportamiento de las variables de suelos, procedentes de la depresión de Quíbor, puede ser explicado por factores como: relieve, geología, clima y manejo. Al observar el agrupamiento de las muestras de suelo en un análisis de componentes principales (ACP), se observó que el 75% de la variación de los datos fueron explicados por los tres primeros componentes, teniendo mayor importancia los dos primeros con 35 y 24% respectivamente (Tabla I.4.20). Al analizar los componentes de mayor variación (1 y 2) se encontró que en el componente 1, la conductividad eléctrica y el contenido de materia orgánica, fueron las variables más importantes para explicar la separación de los grupos de suelo con correlaciones de -0,77 y 0,68 con el componente 1, además del Mg (Tabla I.4.21). Estas correlaciones indican que los suelos que presentan altos valores de materia orgánica, presentan bajos valores de salinidad, por lo que la incorporación de abonos orgánicos es una alternativa viable para la reducción de la salinidad en la depresión de Quíbor. En el componente 2, las variables que mejor explicaron la variación de los datos fueron: el contenido de Ca, pH y arena (Tabla I.4.21) con valores de -0,71, -0,61 y 0,67.

Tabla I.4.20 Autovalores de la matriz de correlaciones correspondientes al análisis de componentes principales (ACP) de base de datos provenientes de la depresión de Quíbor.

Lambda	Valor	Proporción	Prop. acum.
1	3,48	0,35	0,35
2	2,44	0,24	0,59
3	1,53	0,15	0,75
4	1,04	0,10	0,85
5	0,68	0,07	0,92
6	0,47	0,05	0,96
7	0,25	0,02	0,99
8	0,07	0,01	1,00
9	0,04	0,00	1,00
10	0,00	0,00	1,00

Fuente: Torres *et al.*, 2017.

Tabla I.4.21 Correlaciones con las variables originales correspondiente al análisis de componentes principales (ACP) de base de datos provenientes de la depresión de Quíbor.

Variable	CP1	CP2
% a	-0,65	0,67
% L	0,48	-0,59
% A	0,59	-0,50
pH	-0,59	-0,61
CE	-0,77	-0,14
MO	0,68	0,38
P	0,51	0,50
K	-0,59	0,17
Ca	0,07	-0,71
Mg	0,68	0,26

Fuente: Torres *et al.*, 2017.

Los altos contenidos de Ca debido al material parental, y poco lavado debido al clima seco, provocan un pH alto. En la depresión de Quíbor se observaron suelos con alto contenido de arcilla y limo, los cuales están asociados a problemas de degradación física como: sellado y encostramiento, compactación y baja infiltración de agua en el suelo. El proceso de degradación de tierras más importante en explicar el agrupamiento de los datos es la salinidad. En el componente 1 (Figura I.4.15), se observó que el vector de salinidad es el más importante y está asociado a los suelos ubicados en la parte más baja de la depresión. Torres *et al.* (2006), Rodríguez *et al.* (2009), Fernández *et al.* (2011), Jaurexe *et al.* (2013) y Mogollón *et al.*, (2015) señalan que, en la Planicie de Coro, la Depresión de Quíbor y la Península de Paraguaná, la salinización de los suelos se intensifica debido a la ampliación de la frontera agrícola y a la introducción del riego, a fin de mantener una producción constante durante todo el año.

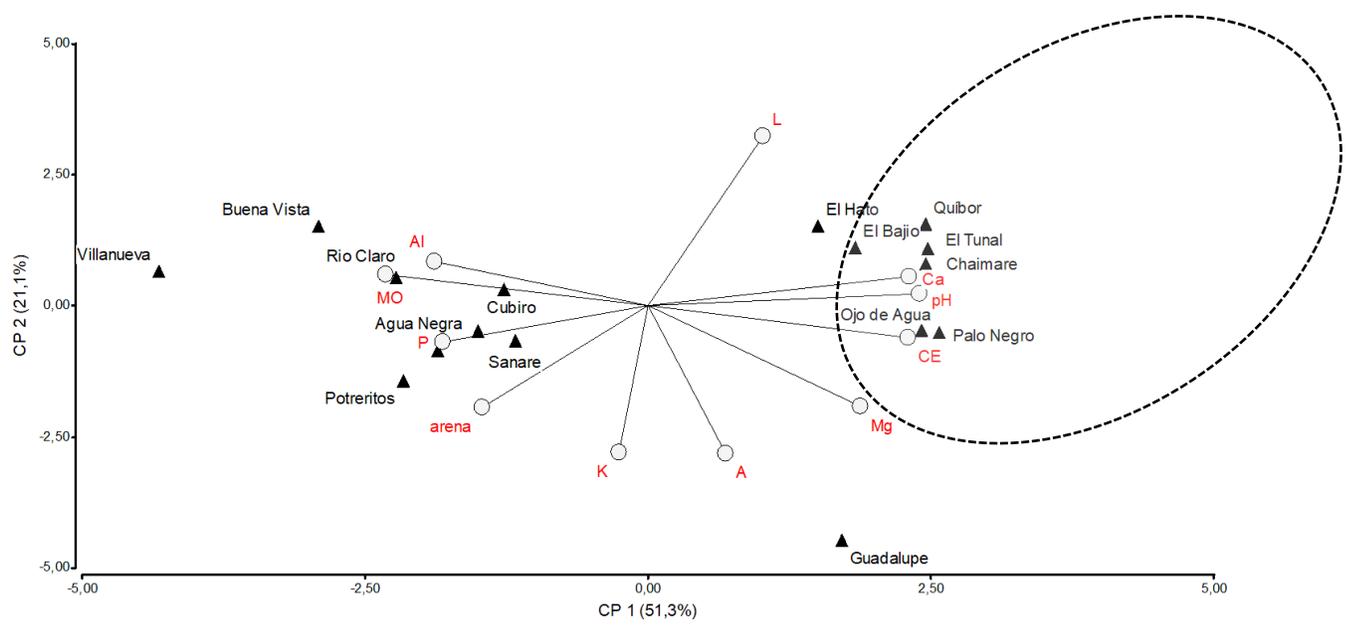


Figura I.4.15 Biplots de variables provenientes de muestras de la depresión de Quíbor. Figura D. Torres, en Torres, D. *et al.*, 2017.

La materia orgánica fue otra variable para explicar la variación de los datos; los valores altos de materia orgánica están relacionados con suelos ubicados en el piedemonte, mientras que valores bajos se encuentran en la zona baja de la depresión. Álvarez *et al.* (2011) reportaron valores altos de materia orgánica en la zona de piedemonte, superiores al 4%. En zonas áridas, Mendoza *et al.* (2013) han reportado valores por debajo de 16,0 g kg⁻¹, encontrándose un cierto incremento en aquellos manejos bajo fertilización orgánica o bien bajo descanso (Jaurexe *et al.*, 2013).

En el componente 2, se observa que las variables con mayor peso para explicar la separación de los grupos, fueron la textura y el pH. Los suelos más pesados se encuentran hacia la zona baja de la depresión de Quíbor. En estos suelos, los procesos de degradación más importantes son la

compactación y baja estabilidad estructural de los suelos. Reyes (2014), señala que los suelos de la serie Quíbor poseen un predominio de partículas de limo, los cuales predisponen a estos suelos a una compactación superficial y a mayores riesgos de compactación.

En la depresión de Quíbor, se construyeron categorías de calidad de suelos para las condiciones bajo estudio, tomando como referencia trabajo previos de Torres *et al.* (2009), Pulido *et al.* (2009); Jaurexje *et al.* (2013) y Mendoza *et al.* (2013); se identificaron 2 categorías denominadas: óptima: la cual no presenta restricciones para el desarrollo de la mayoría de los cultivos, y una segunda categoría que agrupa a las condiciones de suelo que representan limitaciones de moderadas a severas (Tabla I.4.22). Sobre la base de estas categorías, se calculó la frecuencia relativa para cada variable (Tabla I.4.23), tomando como referencia la información analizada por Torres *et al.*, (2017), con fundamento en los datos de 17 años de estudios de suelos de la unidad de investigación en suelos y nutrición mineral del decanato de agronomía de la universidad centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA)

Tabla I.4.22 Categorización de variables edafológicas en suelos de la depresión de Quíbor.

Variable	Óptima	Restricción severa
Arcilla (%)	20-30	>50
Limo (%)	10-20	>40
Arena (%)	20-30	>50
Materia orgánica (g kg ⁻¹)	>25,0	<25,0
Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹)	<4,0	>4,0
pH	7,0-7,5 (neutro)	>7,5 (alcalino) <4,5 (acido)
Fósforo (mg kg ⁻¹)	>40	<40
Potasio (mg kg ⁻¹)	>200	<200
Calcio (mg kg ⁻¹)	1000-1500	>1500 (calcáreo)
Magnesio (mg kg ⁻¹)	>200	<200

Fuente: Torres *et al.*, 2017.

Tabla I.4.23: Frecuencias relativas de variables edafológicas en suelos de la depresión de Quíbor.

Variable	Óptima	Restricción severa	
Arcilla (%)	24,32	20,16	
Limo (%)	6,18	50,42	
Arena (%)	42,32	2,54	
Materia orgánica (g kg ⁻¹)	35,80	64,20	
Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹)	91,79	8,21	
pH	35,28	44,32	Alcalino
		20,40	Acido
Fósforo (mg kg ⁻¹)	42,58	58,42	
Potasio (mg kg ⁻¹)	95,32	4,68	
Calcio (mg kg ⁻¹)	0	100 (extremadamente calcáreo)	
Magnesio (mg kg ⁻¹)	88,58	11,42	

Fuente: Torres *et al.*, 2017.

Distribución de tamaño de partículas

La mayoría de los suelos de la depresión de Quíbor presentan texturas arcillosas; el 20,16% de los suelos presentan contenidos de arcilla superior al 50%, lo cual incrementa la susceptibilidad del suelo al aguachinamiento y limita la infiltración del agua en suelo, favoreciendo el escurrimiento. Con respecto al contenido de limo en la [tabla I.4.22](#), se observa que 50,42% de las muestras analizadas superan el 40% de limo, lo que representan un riesgo para la calidad física del suelo, lo cual puede llevar a problemas como: sellado y encostramiento, limitaciones para la infiltración de agua en el suelo, así como una alta susceptibilidad a la separación de las partículas de suelo. Blavia & Florido (1973), reportaron que los suelos de Quíbor poseen alto contenidos de limos y arcilla, siendo franco limoso las napas de desbordes y franco arcillo limosos y arcillo limosos las cubetas de desborde y de decantación, con efectos muy importantes sobre las características hídricas de los suelos por su baja infiltración y baja estabilidad estructural.

Rollan & Bachmeier (2014), señalan que los suelos donde predominan limos como en la depresión de Quíbor, se caracterizan por su susceptibilidad a compactarse formando estructuras masivas y homogéneas (Álvarez, 2013; Lars *et al.*, 2013). Los altos contenidos de partículas minerales causan que el suelo posea una estructura débil, lo cual favorece procesos de sellado y encostramiento (Ferrerías *et al.*, 2007; Pulido *et al.*, 2009); esto se traduce en disminución de la macroporidad y por ende suelos de pobre calidad física, presentando limitaciones para la infiltración del agua, escurrimiento superficial y riesgos de erosión (Campitelli *et al.* 2010).

Mientras que los porcentajes de arena presentes en la mayoría de los datos son bajos, lo que sería una desventaja en la zona puesto que las precipitaciones son bajas y suelos arenosos retienen poco contenido de humedad, sólo el 2,42% de los suelos contienen un porcentaje de arena superior al 50% presentando riesgos de lixiviación de agroquímicos y menor retención de agua disponible para los cultivos. Sin embargo, en algunas regiones semiáridas venezolanas, como la planicie de Coro y Maracaibo, y la Península de Paraguaná, se han reportado suelos con alto contenido de arena y alta tasa de evaporación, lo que incrementa las condiciones de estrés hídrico y conduce a prácticas como el uso de acondicionadores sintéticos de suelo (Torres *et al.*, 2008; Lobo *et al.*, 2010)

Materia orgánica del suelo

En la depresión de Quíbor, más del 60% de las muestras presentan contenido de materia orgánica inferior a 20 g kg^{-1} , lo cual se corresponde a las características de zonas áridas, donde las escasas precipitaciones y la baja producción de biomasa vegetal, conllevan a menores aportes de materia orgánica en el suelo. No obstante, 35,80% de la muestra presenta valores de materia orgánica

superior a 20 g kg^{-1} ; las muestras con valores altos de materia orgánica corresponden probablemente a zonas que llevan largo período de tiempo bajo fertilización orgánica, o a zonas bajo vegetación natural, donde la formación de zonas de vegetación denominada “islas de fertilidad” y la presencia de consorcios microbianos denominados “costras biológicas”, contribuyen al incremento del contenido de materia orgánica en el suelo.

Mogollón *et al.* (2015) encontraron valores de carbono orgánico superiores a 20 g kg^{-1} en zonas semiáridas de la Península de Paraguaná, las cuales estaban ubicadas bajo bosques con *Prosopis juliflora* y *Cercidium praecox*; Torres *et al.* (2014), en suelos bajo la depresión de Quíbor, encontraron valores altos de carbono orgánico en suelos bajo cobertura de CBS y asociados a parches de vegetación dominados por leguminosas arbustivas.

No obstante, el uso de la tierra conlleva un deterioro progresivo de la calidad de suelo, disminuyendo las reservas de carbono en el mismo, tal como se observa en el [Tabla I.4.24](#), donde diversas investigaciones llevadas en la depresión de Quíbor, demuestran el efecto de las actividades antrópicas sobre el contenido de carbono en el suelo. Las investigaciones reportadas en la depresión de Quíbor muestran una tendencia similar a la reportadas por Mogollón *et al.* (2015), quienes encontraron una reducción del contenido de carbono orgánico en suelos de la Península de Paraguaná entre 39,13% y 86,09% en comparación a las condiciones naturales; el uso de la tierra que más afectó las reservas de carbono fueron el melón bajo riego por goteo y fertilización química.

Tabla I.4.24 Efectos de uso de la tierra sobre la disminución del carbono orgánico en la depresión de Quíbor.

Uso de la tierra	MO (g kg^{-1})	Referencia consultada
Bosque natural	37,3	Jaurexe <i>et al.</i> (2013)
Suelo con más de tres años de descanso; tradicionalmente se producía cebolla bajo manejo convencional	17,7	Torres <i>et al.</i> (2009)
Cebolla con mecanización convencional, fertilización química, uso de plaguicidas y riego en serpentín	10,7	Jaurexe <i>et al.</i> (2013)
Pasto para corte en suelo con más de tres años de descanso. Tradicionalmente sembrado con cebolla, bajo manejo convencional	12,0	Jaurexe <i>et al.</i> (2013)
Suelo de la depresión de Quíbor bajo cobertura de costras biológicas (CBS).	17,58	Torres <i>et al.</i> (2014)

En este mismo sentido, Moges *et al.* (2013), en una zona semiárida de Etiopía, encontraron que el contenido de carbono orgánico fue más bajo en tierras agrícolas bajo pastoreo en comparación con las áreas bajo bosque natural, debido a la reducción de los aportes de residuos orgánicos a la alta tasa de oxidación de materia orgánica por los largos períodos de actividad agrícola, pérdidas por erosión hídrica y remoción del material vegetal, una de las causas de la degradación de suelo por la exposición de los microagregados a la degradación microbiana.

Por su parte, Jiang *et al.* (2015) en los primeros 40 cm del suelo encontraron que el carbono orgánico varió significativamente dependiendo del uso de las tierras, encontrando valores de 11,45 g kg⁻¹, en sistemas agrícolas en zonas subhúmedas a valores de (7,29 g kg⁻¹) en tierras áridas. Los procesos de desertificación conllevan una reducción en el contenido de carbono orgánico, dado que la humedad juega un papel fundamental en los procesos bioquímicos que ocurren en los ecosistemas (Wang *et al.*, 2013); así mismo los cambios en la humedad del suelo, pueden ser correlacionados con el tipo de uso de la tierra o con los gradientes altitudinales (Qiu *et al.*, 2001).

La protección de las áreas naturales en los ecosistemas semiáridos es vital para mitigar los efectos del cambio climático y la desertificación. Nang (2016), confirma esta hipótesis, al encontrar en el norte de Ghana que el contenido de carbono orgánico fue mayor en las zonas protegidas, al compararlos con las sometidas a intervención antrópica. Esto coincide con lo reportado por Moges *et al.* (2013) quienes encontraron valores altos en los bosques naturales, mientras que, en las zonas intervenidas, encontraron valores bajos de carbono orgánico, encontrándose valores de 2 a 3 veces más elevados en las áreas protegidas.

Riesgo de salinización y alcalinización

Al evaluar la conductividad eléctrica, se encontró que 91,79% de las muestras presentan valores de conductividad eléctrica menores que 4 dS m⁻¹, mientras que 8,21 % de las muestras presentan valores de salinidad superiores a 4 dS m⁻¹; este comportamiento no significa que los suelos no tengan riesgos de salinización, ya que como se observa en la [tabla I.4.25](#), el 27,54% de los suelos son ligeramente salinos, 6,56% salinos y 1,65% extremadamente salinos, lo que desde el punto de vista agrícola representa un número importante de hectáreas afectadas por sales.

Tabla I.4.25 Distribución de suelos afectados por sales en la Depresión de Quíbor.

No salino ¹	Ligeramente salino ²	Salino ³	Extremadamente salino ⁴
64,25 (%)	27,54 (%)	6,56 (%)	1,65 (%)

Fuente: Torres *et al.*, 2017.

Al-Ismaily & Al-Maktoumi, (2011) en la región de Al-Batinah en el sultanato de Omán, han reportado valores de salinidad que van desde 0,7 dS m⁻¹ hasta valores extremadamente salinos, por encima de 54 dS.m⁻¹. Estos autores señalan que en el piedemonte predominan suelos con texturas más gruesas y, por lo tanto, puede ocurrir un lavado de los cationes, mientras que los suelos formados en la planicie poseen valores de sales más altos, especialmente los salorthids, donde predominan sales más solubles que el yeso.

Con respecto al pH (Tabla I.4.22), 44,32% de los suelos de la depresión de Quíbor presentan pH alcalino, mientras que 20,40% de los suelos son ácidos. Los valores altos de pH son explicados por las bajas precipitaciones que impiden el lavado de las bases, lo cual se refleja en un mayor contenido de Ca, Mg y K en el suelo, así como el predominio de material parental de origen calcáreo. Factores antrópicos como el uso excesivo de fertilizantes se han relacionado con el incremento en los valores de pH. Los valores de pH son similares a los reportados por Al-Ismaily y Al-Maktoumi (2011), quienes en una toposecuencia de la región de Al-Batinah en el sultanato de Omán, encontraron que los pH dominantes estaban alrededor de 8,0 en un *Typic salorthids*. Estos autores señalan que el rango alcalino de pH es normal en las regiones áridas, donde no ocurre suficiente lluvia para lavar los cationes, mientras que los suelos ácidos están ubicados hacia la zona de piedemonte que rodea la depresión de Quíbor; en esta zona una mayor cantidad de precipitación favorece el lavado de sales, pudiendo predominar cationes ácidos como el H y el Al.

En la depresión de Quíbor, el uso de la tierra no ha tenido efecto sobre el pH del suelo, pero sí sobre la conductividad eléctrica (Tabla I.4.26). Las investigaciones llevadas a cabo en la depresión de Quíbor, muestran que el tipo de uso de la tierra, no afecta el pH del suelo, lo cual coincide con lo reportado por Moges *et al.*, (2013) y Jiang *et al.*, (2016). Sin embargo, en la zona alta, los valores bajo de pH son atribuidos a la remoción de los cationes básicos de la superficie del suelo o por el efecto de las actividades humanas (Nang, 2016). Entre las actividades antropogénicas que llevan a la pérdida de nutrientes, están el pastoreo, la deforestación y la quema (Teshome *et al.*, 2013).

Tabla I.4.26 Efectos de uso de la tierra sobre el pH y conductividad eléctrica en suelos de la depresión de Quíbor.

Uso de la tierra	pH	CE	Referencia consultada
Bosque natural	7,64	0,24	Jaurexe <i>et al.</i> (2013)
Suelo con más de tres años de descanso, tradicionalmente se producía cebolla bajo manejo convencional	7,70	4,66	Torres <i>et al.</i> (2009)
Cebolla con mecanización convencional, fertilización química, uso de plaguicidas y riego en serpentín	7,43	1,02	Jaurexe <i>et al.</i> (2013)
Pasto para corte en suelo con más de tres años de descanso. Tradicionalmente sembrado con cebolla, bajo manejo convencional	7,51	0,34	Jaurexe <i>et al.</i> (2013)
Suelo de la depresión de Quíbor bajo cobertura de costras biológicas (CBS).	7,63	0,25	Torres <i>et al.</i> (2014)

En el caso de la salinidad, los sistemas convencionales han conllevado un proceso de degradación del suelo, con valores superiores a los reportados bajo bosque natural o descanso. Mogollón *et al.* (2016), en un estudio llevado a cabo al norte de Venezuela, señalan que en los suelos bajo manejo intensivo, se ha incrementado drásticamente el proceso de salinización, debido al cultivo intensivo de melón bajo riego, la aplicación de fertilizantes y agroquímicos. Este proceso se haría más rápidamente evidente en los suelos con condiciones de sequía, dado que la escasez de agua impide el proceso de lavado de suelo.

Disponibilidad de nutrientes

Los suelos de la depresión de Quíbor presentan una alta disponibilidad de nutrientes, siendo los elementos más limitantes el P, por encontrarse en algunos casos por debajo de los valores mínimos requeridos por la mayoría de los cultivos, y el Ca, por encontrarse en valores extremadamente altos, lo que conlleva desbalances nutricionales con otros nutrientes. En cuanto al contenido de P, se observó que 58,42% de los suelos de Quíbor presentan bajo contenido de este nutriente, lo cual está relacionado con los bajos contenidos de MO, mientras que 42,58% de los suelos presentan contenidos elevados de P, producto de la aplicación de altas dosis de fertilizantes fosfatados, los cuales tienden acumularse en suelos de textura arcillosa, como los predominantes en la depresión de Quíbor.

Delgado *et al.* (2013) señalan que existe una correlación positiva entre la aridez y el contenido de P, lo cual es contrario a lo reportado para el C y N, que presentan una correlación negativa con la aridez. Estos autores señalan en un estudio realizado en 224 parcelas de zonas secas del mundo, que el incremento del contenido de P es explicado por la meteorización, que permite disponer del P asociado al CaCO_3 ; así mismo el contenido de P se incrementa por los aportes de materia orgánica de fácil descomposición.

En el caso del K, se encontró que 95,32% de los suelos presentan valores altos de este nutriente, mientras que sólo 4,68% presentan baja disponibilidad de éste. Los valores elevados de K, están relacionados con la mineralogía predominante en la depresión de Quíbor, donde abundan arcillas del tipo illita. Darusontaya *et al.* (2012) establecieron que el contenido de K estaba relacionado con mineralogía del suelo. Estos autores, en 14 oxisoles y 26 ultisoles de Tailandia, encontraron que el contenido de K fue bajo, debido al predominio de la caolinita en la matriz del suelo. Rodríguez, (1991) en la depresión de Quíbor, encontró una mayor proporción de illita, mientras que en la zona de piedemonte, en la formación Villanueva cercana a la localidad de Cubiro, identificó una mayor proporción de cuarzo y caolinita.

Con respecto al Ca y el Mg, se observó que 100% de los suelos presentan valores altos de Ca y valores óptimos de Mg. Los valores elevados de estos nutrientes son debido a las condiciones climáticas de la zona, caracterizada por precipitaciones inferiores a los 400 mm anuales, lo cual favorece la acumulación de cationes básico en el suelo; así mismo la alta disponibilidad de estos elementos en el suelo está asociada al predominio de material parental de origen calcáreo, donde predominan las calcitas y las calcitas dolomíticas.

En las zonas áridas, a escala global, predominan suelos calcáreos o gysíferos, lo cual está condicionado por el material parental y por las condiciones climáticas de las zonas; este tipo de suelo ha

sido reportado en la península de Paraguaná, Venezuela (Mogollón *et al.*, 2014), en la Depresión de Quíbor (Torres *et al.*, 2014), espartales españoles (Maestre *et al.*, 2012); todas estas zonas se caracterizan por presentar alto contenido de calcio, magnesio, pH alcalinos y en algunos casos alto contenido de sales.

El uso de la tierra en la depresión de Quíbor tuvo un efecto sobre el contenido de P, pero no sobre el contenido de K, Ca y Mg (Tabla I.4.27). Al igual que lo observado por Emiru y Gebrekidan (2013), el contenido de P en suelos cultivados no fue tan bajo como el que se observa en matorrales semiáridos y tierras bajo pastoreo; estos autores señalan que la aplicación de materiales orgánicos y estiércol de animales puede incrementar el contenido de P, pero no a niveles vistos en condiciones naturales; el efecto residual del P contenido en el fosfato diamónico, también puede contribuir al incremento de P en el suelo. En el caso del contenido de P en las zonas de matorrales, como lo observado por Torres *et al.* (2014), la reducción en los niveles de P, en comparación con las zonas adyacentes bajo pastoreo, es debida a que, en la zona bajo bosque, hay una mayor producción de biomasa y por lo tanto una mayor utilización del P.

Tabla I.4.27 Efectos de uso de la tierra sobre la disponibilidad de nutrientes en suelos de la depresión de Quíbor.

Uso de la tierra	P	K	Ca	Mg	Referencia consultada
Bosque natural	79,7	211,3	>2000	460	Jaurexe <i>et al.</i> (2013)
Suelo con más de tres años de descanso, tradicionalmente se producía cebolla bajo manejo convencional	85,00	212	1200	400	Torres <i>et al.</i> (2009)
Cebolla con mecanización convencional, fertilización química, uso de plaguicidas y riego en serpentín	26,7	171,4	>2000	380	Jaurexe <i>et al.</i> (2013)
Pasto para corte en suelo con más de tres años de descanso. Tradicionalmente sembrado con cebolla, bajo manejo convencional	40,0	287,5	>2000	390	Jaurexe <i>et al.</i> (2013)
Suelo de la depresión de Quíbor bajo cobertura de costras biológicas (CBS).	19,78	209,57	>2000	111,89	Torres <i>et al.</i> (2014)

El contenido de K, Ca y Mg no fue afectado por el tipo de uso de la tierra, debido al origen de los suelos, los cuales son ricos en K, por la presencia de illita en la fracción de arcilla, y la naturaleza calcárea de los mismos. No obstante, en otras regiones semiáridas el tipo de uso de la tierra puede afectar la calidad del suelo. Moges *et al.* (2013), observaron que el K disponible se redujo

considerablemente en suelos bajo pastoreo en comparación al bosque natural, debido a la degradación del suelo, que favorece la pérdida del suelo por erosión y lixiviación de cationes básicos; estos mismos autores también encontraron un reducción del Ca y Mg intercambiable en las zonas bajo pastoreo. Sin embargo, para todos los nutrientes evaluados, el contenido de los mismos fue similar al comparar suelos agrícolas con bosques; esto fue debido probablemente al constante aporte de *compost* y otras fuentes orgánicas.

El conocimiento de las propiedades de los suelos de la depresión de Quíbor y áreas adyacentes, y el entendimiento de los procesos antrópicos sobre la calidad del suelo, así como el conocimiento de las condiciones climáticas y sus tensores antrópicos, permitirán a largo plazo, la selección de los sistemas de producción que mejor se adecúen a las condiciones de la zona, aumentando la resiliencia de los suelos ante eventos extremos climáticos y no climáticos, y por tanto aumentando la capacidad adaptativa de los pobladores de la zona, ante los efectos del cambio climático.

I.4.5.3 b) Depresión de Carora

La Depresión de Carora, la cual posee una superficie de 900 km² y está localizada al NO de la ciudad de Carora, abarca áreas menores al SO y NE de la misma. La depresión de Carora es de origen tectónico (COPLANARH, 1975), y se formó por la deposición de sedimentos de áreas montañosas circunvecinas, particularmente por sedimentos coluviales de origen cuaternario. La escasez de las lluvias (700 mm año⁻¹), unida a las altas temperaturas (28°C) y evaporación (2000 mm año⁻¹), determinan en la zona una marcada característica semiárida (Toledo, 2013).

En la región, se distinguen tres clases de paisajes: tierras altas, tierras de elevación media y tierras bajas (Ferrer & de Paz, 1985). Donde predominan altas pendientes se favorecen los procesos erosivos, como en aquellas zonas que se localizan en las regiones montañosas andinas. Una segunda zona montañosa semiárida se localiza en la formación Matatere, con elevaciones inferiores a 1.000 m y caracterizada por escasas precipitaciones y vegetación escasa. Una tercera zona de deposición aluvial, de configuración plana o ligeramente ondulada, presenta una altitud inferior a los 600 m s.n.m.; está formada por depósitos aluviales de los ríos de la región o de origen coluvial de las serranías adyacentes.

En la zona se observan dos tipos generales de suelos: los de las regiones semiáridas y los de las regiones subhúmedas y húmedas. Los de las regiones semiáridas, en las áreas montañosas, no son profundos y poseen grandes contenidos de *piédras* y fragmentos rocosos, predominando suelos de bajo desarrollo pedogenético, mientras que en las zonas áridas bajas, predominan suelos con procesos de génesis más complejos, que han dado origen a horizontes cámbicos con acumulación de carbonatos, yesos u otras sales: a los grandes grupos *Camborthids* y en menor grado *Calciorthids* o *Salorthids*. En

las zonas subhúmedas y húmedas, los factores formadores de suelos son más marcados, especialmente la precipitación y el relieve, por lo cual son más evolucionados, predominando el orden *Alfisoles* y el *Ultisoles*.

Con relación a las características climáticas del área bajo estudio, en la depresión de Carora y zonas adyacentes predominan climas desde semiárido, hasta zonas húmedas en las zonas montañosas. Andrade *et al.* (2010), describieron las características climáticas del municipio Torres, las cuales se presentan en la [tabla I.4.28](#).

Tabla I.4.28 Características climáticas generales observadas en el municipio Torres del estado Lara.

Provincia de humedad	Altitud	Precipitación	Déficit de humedad	Agresividad de la lluvia
Semiárida	416-564	548-564	0-810	Moderada a alta
Subhúmeda seca	511-921	663-805	0-637	Moderada a alta
Subhúmeda húmeda	725-1524	820-1.060	67-433	Moderada a alta
Húmeda	1.398-224	1.017-2.324	28-474	alta

Fuente: Andrade *et al.*, 2010.

Calidad de suelos en la depresión de Carora

El comportamiento de los suelos de la depresión de Carora es explicado por cambios en la precipitación, topografía y el manejo de los suelos. Para identificar las variables más importantes Andrade *et al.*, (2010), realizaron un análisis de componentes principales (ACP), donde se observa que el 85% de la variación de los datos es explicado por los dos primeros componentes ([Tabla I.4.29](#)). Las variables más importantes en explicar la variación de los datos fueron la arcilla y el Ca al presentar las correlaciones más altas con el componente 1, con valores de 0,77 y 0,74 respectivamente ([Tabla I.4.30](#)).

Tabla I.4.29 Autovalores correspondientes al análisis de componentes principales (ACP) de base de datos provenientes del Municipio Torres.

Lambda	Valor	Proporción	Prop. acum.
1	3,79	0,38	0,38
2	1,94	0,19	0,57
3	1,31	0,13	0,70
4	1,01	0,10	0,80
5	0,72	0,07	0,88
6	0,50	0,05	0,93
7	0,45	0,04	0,97
8	0,18	0,02	0,99
9	0,11	0,01	1,00
10	0,00	0,00	1,00

Fuente: Andrade *et al.*, 2010.

En el componente dos, las variables que mejor explican el comportamiento de los datos son: P y pH con correlaciones de 0,80 y 0,64. Al analizar los datos provenientes de la depresión de Carora, se observó la conformación de tres grupos, en función de las características de suelo (Figura I.4.16): los suelos ubicados en la zona montañosa, caracterizados por presentar pH ácidos y bajos valores de materia orgánica, P, K, Ca y Mg; un segundo grupo conformado por los suelos de la zona de piedemonte caracterizados por suelos ácidos con valores altos de materia orgánica, y bajo contenido de P y K; el tercer grupo correspondió a suelos de las tierras bajas de la depresión, el cual presentó valores de arcilla, limo, pH, P, K, Ca y Mg

Tabla I.4.30 Correlaciones con las variables originales correspondiente al análisis de componentes principales (ACP) de base de datos provenientes de la depresión de Carora.

Variable	CP1	CP2
Arena	-0,83	0,28
Limo	0,57	0,05
Arcilla	0,74	-0,41
pH	0,58	0,64
Conductividad eléctrica	0,63	-0,34
Materia orgánica	0,44	-0,52
Fósforo	0,30	0,80
Calcio	0,77	0,21
Magnesio	0,64	-0,03
Potasio	0,33	0,46

Fuente: Andrade *et al.*, 2010.

Los datos analizados corresponden a una toposecuencia; la información generada fue obtenida de la base de datos de 17 años de estudios de suelo en la zona, información suministrada por el laboratorio de suelos de la unidad de investigación en suelos y nutrición mineral de plantas (UISNM) del Decanato de Agronomía de la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA). En la toposecuencia correspondiente a la depresión de Carora, se ubicaron 3 áreas: los puntos más elevados en los sectores Sabaneta, Quebrada Arriba y Las Palomas a los 1600 m s.n.m.; seguido por los sectores de Parapara, Aregue, Las Palmitas ubicados a los 1.200 m s.n.m. aproximadamente; y un tercer grupo ubicado hacia la zona más baja del municipio representado por los sectores de Arenales, Sogore, El Tigrito, Atarigua, La Rinconada, que se encuentran a los 400 m s.n.m. aproximadamente (Figura I.4.17).

El gradiente altitudinal producto de la toposecuencia, explica en gran medida la variación de los datos en función de los cambios en la vegetación, precipitaciones y temperatura, a medida que cambia la altitud. Los autores construyeron categorías de calidad de suelos para las condiciones bajo estudio, tomando como referencia trabajo previos de Torres *et al.* (2009), Pulido *et al.* (2009); Jaurexje *et al.* (2013) y Mendoza *et al.* (2013). Sobre la base de la información analizada, se construyeron 2 categorías denominadas: óptima, la cual no presenta restricciones para el desarrollo de la mayoría de los cultivos; y una segunda categoría que agrupa las condiciones de suelo con limitaciones de moderadas a severas

(Tabla I.4.31). Con base en estas categorías, se calculó la frecuencia relativa para cada variable (Tabla I.4.32), tomando como referencia la información analizada por Torres *et al.*, (2017).

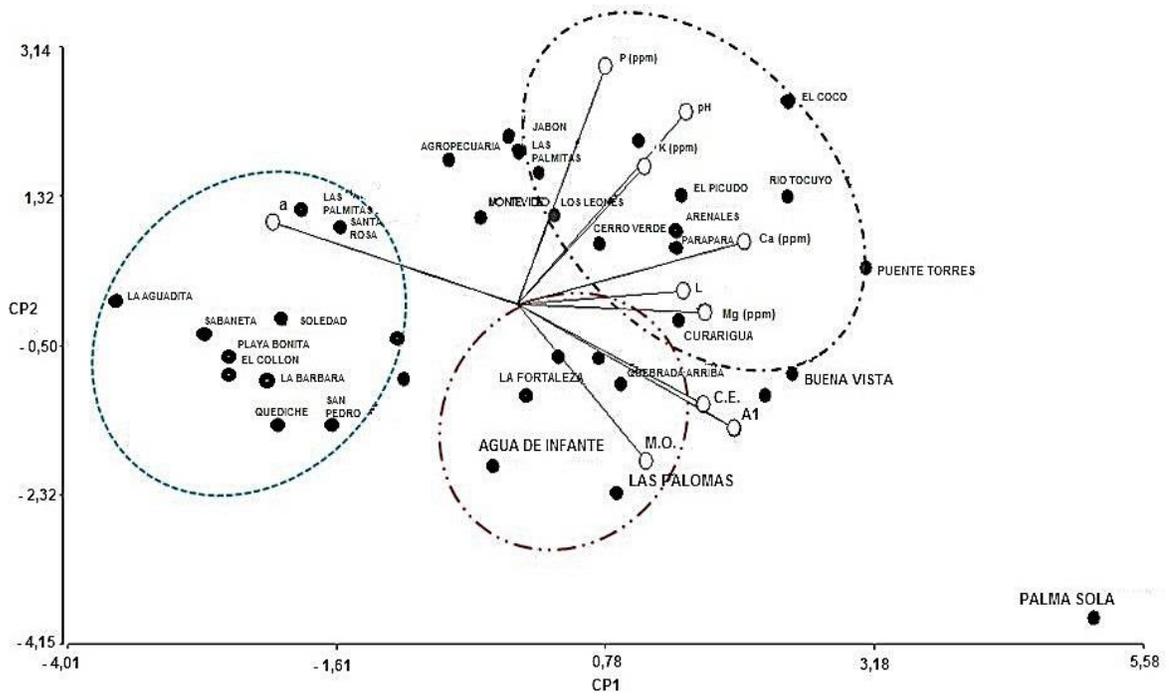


Figura I.4.16 Diagrama de comportamiento de los sectores dependiendo a las variables estudiadas en datos provenientes del municipio Torres. Figura D. Torres.

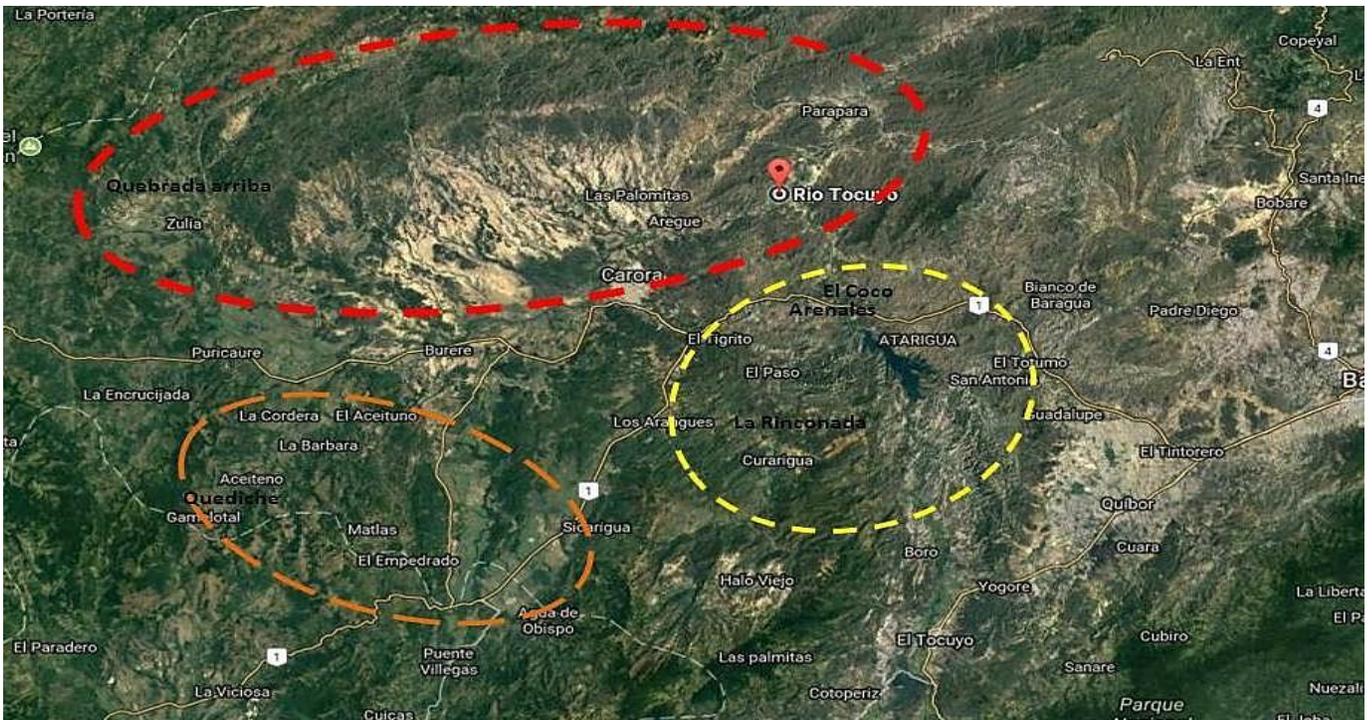


Figura I.4.17 Ubicación de los sectores del municipio Torres, correspondientes a la base de datos de suelos de la Unidad de investigación en suelo y nutrición mineral de plantas. Fuente: Torres *et al.*, 2017.

Tabla I.4.31 Categorización de variables edafológicas en suelos de la depresión de Carora.

Variable	Óptima	Restricción severa
Arcilla (%)	20-30	>50
Limo (%)	10-20	>40
Arena (%)	20-30	>50
Materia orgánica (g kg ⁻¹)	>25,0	<25,0
Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹)	<4,0	>4,0
pH	7,0-7,5 (neutro)	>7,5 (alcalino) <4,5 (ácido)
Fósforo (mg kg ⁻¹)	>40	<40
Potasio (mg kg ⁻¹)	>200	<200
Calcio (mg kg ⁻¹)	1000-1500	>1500 (calcáreo)
Magnesio (mg kg ⁻¹)	>200	<200

Fuente: Torres *et al.*, 2017.

Tabla I.4.32 Frecuencias relativas de variables edafológicas en suelos de la depresión de Quíbor.

Variable	Óptima	Restricción severa	
Arcilla (%)	43,00	12,00	
Limo (%)	13,40	31,20	
Arena (%)	30,00	20,75	
Materia orgánica (g kg ⁻¹)	0,60	83,40	
Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹)	91,79	8,21	
pH	29,00	19,00	Alcalino
		21,00	Acido
Fósforo (mg kg ⁻¹)	13,10	86,90	
Potasio (mg kg ⁻¹)	16,00	84,00	
Calcio (mg kg ⁻¹)	48,00	52,00 (extremadamente calcáreo)	
Magnesio (mg kg ⁻¹)	5,00	95,00	

Fuente: Torres *et al.*, 2017.

Distribución de tamaño de partículas

Los suelos de la depresión de Carora presentan textura variable. 12% de las muestras analizadas poseen un contenido de arcilla superior al 50%, por lo que presentarían serias limitaciones para la infiltración del agua. 31,20% de las muestras presentan valores de limo superiores al 40%, por lo cual estos suelos presentan baja estabilidad estructural, presentando serios riesgos de erosión hídrica y formación de cárcavas. Un 20,75% presentó valores altos de arena, lo que conlleva problemas de retención de humedad. La baja tasa de infiltración del suelo, debido al predominio de partículas finas, incrementa los riesgos de erosión hídrica, lo cual puede conllevar formación de cárcavas, tal como lo reporta Toledo (2013) en suelos de Sucusal, ubicados en la depresión de Carora. Los procesos erosivos en la zona, son además, favorecidos por la escasa cobertura vegetal, el bajo contenido de materia orgánica y las lluvias de alta intensidad. Toledo (2013), señala que entre las consecuencias, producto de

la erosión en cárcavas, están: pérdidas de nutrientes, disminución de la tasa de infiltración, colmatación de embalses, sedimentación de cauces naturales, acumulación de sedimentos en calles o carreteras y reducción de la productividad (Gásperi, 1982; Gómez *et al.* 2011).

Materia orgánica

El bajo contenido de materia orgánica es una de las principales limitaciones de los suelos de la depresión de Carora: 83,40% de las muestras presentan contenido de materia orgánica inferior a 25,00 g kg⁻¹. El bajo contenido de materia orgánica es producto de la baja producción de biomasa vegetal y las escasas precipitaciones; bajos contenidos de materia orgánica se asocian a una menor disponibilidad de nutrientes, menor retención de humedad y baja capacidad de intercambio catiónico de suelo. Los bajos contenidos de materia orgánica son típicos de las regiones semiáridas a escala global, debido a la escasa precipitación, que disminuye la biomasa vegetal y por lo tanto, la entrada de sustrato para la mineralización de la materia orgánica, cuyo valor tiende a ser más bajo en las zonas más bajas de la depresión, donde las lluvias son inferiores a los 400 mm anuales, mientras que en las zonas altas de la depresión de Carora, el contenido de materia orgánica se incrementa, debido a un mayor aporte de biomasa vegetal, por la mayor disponibilidad de agua para el crecimiento de la vegetación.

Estos resultados coinciden con los reportados por Mogollón *et al.* (2010) y Mogollón *et al.* (2015), quienes al estudiar dos gradientes altitudinales en la Planicie de Coro del estado Falcón y en la Península de Paraguaná, encontraron que el contenido de materia orgánica disminuía a medida que variaba el piso altitudinal, y que estos cambios estuvieron estrechamente correlacionados con la precipitación y las características de la vegetación predominante.

Por otro lado, Delgado *et al.* (2013) y Maestre *et al.* (2015) han demostrado que la materia orgánica disminuye considerablemente por efectos del cambio climático; estos resultados fueron encontrados al estudiar 224 parcelas en diferentes regiones semiáridas a escala global, que incluían parcelas ubicadas en la depresión de Quíbor en Venezuela. No obstante, otros autores como Montaña *et al.*, (2016) y Sandoval *et al.* (2016) han encontrado que, en las zonas semiáridas, existen arreglos de vegetación con acumulación de hojarasca, que incrementan la mineralización de la materia orgánica. En este sentido, Torres *et al.* (2014), en dos regiones semiáridas venezolanas, encontraron la presencia de consorcios microbianos denominados costras biológicas de suelo (CBS), que contribuyen al incremento de materia orgánica en comparación con las zonas adyacentes.

El contenido de materia orgánica también es afectado por las condiciones antrópicas; en la [tabla I.4.33](#) se presentan los cambios observados en suelos bajo diferentes condiciones de uso en la depresión de Carora.

Tabla I.4.33 Efectos de uso de la tierra sobre la disminución del carbono orgánico en la depresión de Carora.

Uso de la tierra	MO (g kg ⁻¹)	Referencia consultada
Bosque natural	37,3	Acevedo <i>et al.</i> (2015)
Cebolla bajo manejo convencional	14,1	Mollejas <i>et al.</i> (1994)
Árboles frutales (<i>Melicoccus bijugatus</i> y <i>Mangifera indica</i>)	17,7	Acevedo <i>et al.</i> (2015)
Vid	10,7	Acevedo <i>et al.</i> (2015)
Melón bajo riego por goteo	22,5	Contreras <i>et al.</i> (2014)
Huertos urbanos	21,80	Acevedo <i>et al.</i> (2014)

Riesgo de salinización y alcalinización

La mayoría de los suelos presentaron pH ligeramente ácidos o alcalinos: 19% de los suelos presentaron valores de pH superior a 8,0, mientras que 21,00% presentaron pH inferiores a 4,5. Los suelos de la depresión de Carora no presentan contenidos elevados de sales: más del 90% presentaron valores de sales inferiores a 4 dS m⁻¹ (Tabla I.4.34). Los valores de conductividad eléctrica fueron similares a los reportados por Contreras *et al.* (2014) y Acevedo *et al.* (2015), quienes encontraron valores inferiores a 2 dS m⁻¹ en suelos de la depresión de Carora ubicados en las regiones de Río Tocuyo y San Francisco, respectivamente.

Tabla I.4.34 Efectos de uso de la tierra sobre el pH y conductividad eléctrica en suelos de la depresión de Carora.

Uso de la tierra	pH	CE	Referencia consultada
Bosque natural	6,18	0,13	Acevedo <i>et al.</i> (2015)
Vegetación secundaria	6,65	0,26	Acevedo <i>et al.</i> (2015)
Cebolla bajo manejo convencional	7,5	10,6	Mollejas <i>et al.</i> (1994)
Árboles frutales (<i>Melicoccus bijugatus</i> y <i>Mangifera indica</i>)	6,58	0,25	Acevedo <i>et al.</i> (2015)
Vid	6,18	0,28	Acevedo <i>et al.</i> (2015)
Melón bajo riego por goteo	6,40	1,40	Contreras <i>et al.</i> (2014)
Huertos urbanos	7,60	1,80	Acevedo <i>et al.</i> (2014)

Este comportamiento difiere de lo observado por Jaurexje *et al.* (2013) y Mogollón *et al.* (2014), quienes encontraron un severo proceso de salinización en suelos de dos regiones semiáridas venezolanas; sin embargo, estos autores coinciden que, en suelos bajo condiciones de bosque natural o barbecho, la conductividad eléctrica se mantiene en valores bajos a pesar de los altos valores de evaporación y la escasa precipitación, típicos de las regiones semiáridas venezolanas. Los problemas de salinidad se agravan en los cultivos bajo manejo convencional; Mogollón *et al.* (2015), en la Península de Paraguaná, encontraron extensas áreas bajo explotaciones intensivas de melón (*Cucumis melo*) y Cebolla (*Allium cepa*), lo cual se correlacionó con un incremento de los valores de conductividad

eléctrica. Esto puede ser explicado por el uso de agua de mala calidad (Fernández *et al.*, 2011) y por las escasas precipitaciones que impiden el lavado de las sales (Mogollón *et al.*, 2014)

Disponibilidad de nutrientes

Lo suelos de la depresión de Carora presentaron limitaciones de fertilidad al encontrarse serias deficiencias de P, K y Mg en el suelo, 86,90; 84,00 y 95,00% de las muestras presentaron bajo contenido de P, K, y Mg respectivamente. El calcio presenta valores altos, superiores a 2.000 mg kg⁻¹ en el 52% de las muestras analizadas, lo que representa una limitación, al presentarse desbalance nutricional con otros elementos químicos esenciales. El uso de la tierra tuvo un efecto sobre el contenido de P, pero no sobre el contenido de K, Ca y Mg (Tabla I.4.35).

Tabla I.4.35 Efectos de uso de la tierra sobre la disponibilidad de nutrientes en suelos de la depresión de Carora.

Uso de la tierra	P	K	Ca	Mg	Referencia consultada
Bosque natural	79,7	211,3	>2000	460	Acevedo <i>et al.</i> (2015)
Vegetación secundaria					Acevedo <i>et al.</i> (2015)
Cebolla bajo manejo convencional	20,00	361	2860	696	Molleja <i>et al.</i> (1994)
(<i>Melicoccus bijugatus</i> y <i>Mangifera indica</i>)	26,7	171,4	>2000	380	Acevedo <i>et al.</i> (2015)
Vid	40,0	287,5	>2000	390	Acevedo <i>et al.</i> (2015)
Melón bajo riego por goteo	43,0	152,00	2127	83,00	Contreras <i>et al.</i> , (2014)
Huertos urbanos	27,50	121,83	>2000	316,92	Acevedo <i>et al.</i> (2014)

Los bajos niveles de P contradicen los valores encontrados por Jaurexe *et al.* (2013). Estos autores reportan valores altos de P en la depresión de Carora, debido al efecto residual del mismo, producto de años de fertilización fosfatada. Delgado *et al.* (2013) al estudiar más de 144 parcelas en diferentes regiones semiáridas del mundo, encontraron que los niveles de P aumentan con la aridez, debido a que se favorecen los procesos de meteorización, sobre todo del P fijado al calcio. El incremento del P en el riego por goteo, indica que el tipo y forma de aplicación del fertilizante influye sobre la disponibilidad del mismo en el suelo, demostrando que este sistema no solo permite el ahorro del suelo en las zonas áridas, sino una mayor eficiencia en el uso de fertilizantes, lo cual repercute en el rendimiento de los cultivos. Casanova & Rivero (2006) señalaban en sistemas de fertirrigación donde se aplicaban además soluciones que acidificaban el suelo, que podría ocurrir una disminución del pH, lo cual influiría sobre la disponibilidad de fósforo natural del suelo, en comparación con su aplicación en forma sólida.

El contenido de Ca y Mg no fue afectado por el tipo de uso de la tierra, debido a la naturaleza calcárea de los suelos de la depresión de Carora, y por las escasas precipitaciones que impiden el lavado de las bases. Andrade *et al.* (2010), al describir la geología de la zona semiárida de la depresión

de Carora, señalan que en la misma predominan horizontes cámbicos, cálcicos, sálicos y gysicos, producto de la translocación de carbonatos, yesos y otras sales, lo cual le confiere a los suelos las características anteriormente descritas.

Los tipos de uso de la tierra bajo manejo convencional con cebolla y melón bajo riego por goteo, presentaron valores altos de todos los nutrientes, debido a las altas tasas de aplicación de fertilizantes que se emplean en este tipo de explotaciones. Jaurexje *et al.* (2013) encontraron valores más altos de K en sistemas de cebolla bajo manejo convencional, mientras que los más bajos los encontraron en los sistemas menos intensivos como pasto o bajo condiciones naturales.

En los huertos urbanos, se observaron los valores más bajos de K, lo que indica que el uso de materia orgánica por sí sola no lograr suplir el 100% de las necesidades del cultivo; sin embargo, según Pomares *et al.* (2003), los valores de K pueden suplir las necesidades nutricionales de la mayoría de las hortalizas, mientras que los valores medios de K en el melón bajo riego por goteo indican que se requieren aplicaciones adicionales de fertilizantes; no obstante al igual que lo señalado en el caso de los huertos urbanos, estos valores suplen las necesidades nutricionales de la mayoría de la hortalizas a excepción de cultivos como la papa (*Solanum tuberosum*).

I.4.5.3 c) Conclusiones

- Los suelos de la depresión de Quíbor presentan un alto potencial para la producción agrícola por el alto contenido de nutrientes, pero presentan serias limitaciones por los riesgos de degradación física por: compactación, sellado y encostramiento, erosión hídrica y afectación de suelos por sales. En cambio, los suelos de piedemonte presentan un alto contenido de materia orgánica, pero limitaciones por la acidez del suelo y la presencia de aluminio intercambiable que limita la disponibilidad de nutrientes, particularmente el P.
- Se identificaron dos grupos de suelos, aquellos ubicados en la depresión de Quíbor y los ubicados en la zona de piedemonte; las variables más importantes en explicar la separación de estos grupos fueron el pH, CE, MO y Al. Los cambios en estas variables se pueden deber al efecto de los factores formadores de suelo y la intensidad del uso de la tierra, lo que conlleva el desarrollo de procesos de degradación de tierra como salinización en la zona de la depresión de Quíbor y acidificación en la zona de piedemonte.
- Los usos de la tierra bajo manejo convencional han producido una disminución del contenido de materia orgánica, fósforo y un incremento de la conductividad eléctrica en la depresión de Quíbor, mientras que en la zona de piedemonte la sustitución del café por cultivos hortícolas ha

ocasionado una disminución del contenido de materia orgánica, disminución del pH e incremento del aluminio intercambiable en el suelo.

- Los suelos de la depresión de Carora con alto contenido de arcilla y limo, presentan alta susceptibilidad a la compactación y erosión; muchos de los cambios están influenciados por las diferencias en las condiciones topográficas, climáticas y de vegetación. En la depresión de Carora, al igual que en la depresión de Quíbor, los problemas de degradación de tierra se han acentuado por el cambio climático y el uso intensivo de la tierra, lo cual ha conllevado a una disminución del contenido de materia orgánica y la salinización de los suelos.

I.4.6 Conclusiones

De la recopilación aquí presentada, surgen las siguientes conclusiones, que persiguen contribuir con orientar las políticas sobre la generación de conocimiento en ciencia y tecnología en el ámbito de los ecosistemas terrestres y la diversidad biológica del país. Esto con el fin de llenar los vacíos de conocimiento que existen sobre el papel de los ET venezolanos en el marco del cambio climático; aspecto de suma relevancia para la planificación de la mitigación y la adaptación al cambio climático en Venezuela.

- Es un problema para el país, no contar con una base cartográfica actualizada a las diferentes escalas espaciales, pues ésta constituye una herramienta necesaria para la estimación de la cobertura de la tierra con un nivel de confianza suficiente. La adquisición por parte del país de satélites para la observación del territorio es una oportunidad para desarrollar dicha base. El Estado tiene la capacidad de realizar el esfuerzo suficiente a través de sus instituciones para lograr tal meta.
- Es importante cuantificar, a las diferentes escalas espaciales, los inventarios de carbono contenidos en los ET y los flujos asociados. Existen metodologías para tal fin, pero se requiere del concurso de las instituciones del Estado y de la academia para lograrlo. Esto es importante para todas las regiones abordadas en este reporte.
- En el caso de la Guayana, es poco lo que se conoce a pesar de que la región contiene más del 80% de la formación forestal nacional.
- La Cordillera de la Costa, a pesar de su modesta extensión, posee tasas de transformación del paisaje muy aceleradas, pues allí se concentra más de un tercio de la población nacional. Es importante establecer un “tiempo cero” con respecto a los inventarios de carbono en esta región, a

fin de poder hacer un seguimiento en el tiempo de los cambios observados, ya no al nivel cualitativo, sino cuantitativo.

- En los llanos es importante contar con estudios actuales y abarcar sistemas que nunca han sido estudiados, en términos de sus inventarios de carbono. Algunos de ellos son muy importantes en términos del cambio climático por los servicios ambientales que brindan, como los bosques ribereños, y son sin embargo virtualmente desconocidos, más allá de su composición florística.
- Se resume en esta revisión notables esfuerzos de la academia en los estados Falcón y Lara, para cuantificar tanto los inventarios como los flujos, en los sistemas áridos y semiáridos del occidente del país, que podrían ser de los más vulnerables ante el cambio climático. Sin embargo, hace falta continuar con el apoyo en cuanto al financiamiento, y vincular estas iniciativas de la academia con aquellas de las instituciones del Estado.
- Existen muy pocos estudios con respecto a los flujos de GEI desde y hacia los ET venezolanos. La deforestación y emisiones desde la vegetación y los suelos por los cambios de uso de la tierra parecerían constituir los flujos más importantes. Se debería contar con un observatorio nacional de estos procesos a través de las instituciones del Estado. La academia, mediando el apoyo financiero, pudiese orientar sus investigaciones, en las escalas más finas (de paisaje), sobre todo en los lugares que se espera experimenten mayores tasas de cambio en el futuro próximo (eje centro-norte costero, Llanos de Venezuela, Arco Minero del Orinoco).
- Existen muy pocos estudios sobre el potencial efecto del cambio climático sobre los ET y su biodiversidad. Esto debido a que se conoce poco sobre los rangos de distribución de las especies, sus requerimientos y rangos de tolerancia, el tamaño de las poblaciones y su diversidad genética. En el nivel de ecosistema, algunos parecen más vulnerables que otros. Los sistemas alto-tepuyanos por sus características particulares y por la imposibilidad de las especies de migrar hacia sitios más elevados como respuesta al calentamiento global, podrían experimentar altas tasas de extinción relacionadas con el cambio climático. La reorganización de las lluvias también podría poner en riesgo a los bosques montanos, sobre todo los más estacionales. Algunos estudios paleoecológicos sugieren que los sistemas ribereños en la Guayana venezolana podrían ser vulnerables ante el cambio climático, sobre todo si el fuego no controlado constituyera una perturbación frecuente. En otros lugares como en los Llanos del Orinoco se ha demostrado la prevalencia de climas áridos y semiáridos en el pasado, que podrían repetirse en el futuro a causa del cambio climático. El conocimiento respecto a estos aspectos es muy limitado para los ET venezolanos, y se requiere por tanto la inversión del Estado en estudios de línea base, que

permitan orientar las potenciales políticas de conservación en todos los niveles de organización biológicos (poblaciones, comunidades y ecosistemas).

- La revisión aquí presentada posee ciertas debilidades que es importante resaltar. En primer término, algunas regiones no fueron abordadas, como Los Andes y la depresión del Lago de Maracaibo. Estas regiones son muy importantes, ya que han experimentado altas tasas de conversión de los ET durante el siglo pasado y el siglo en curso, principalmente a causa del desarrollo agropecuario. Los Andes son además importantes por contener gran proporción de bosques, y por las comunidades de alta montaña, como los páramos y subpáramos que podrían ser muy sensibles al cambio climático. Otras regiones fueron abordadas brevemente, como en el caso de la región llanera, que posee una vasta literatura de la cual se ha hecho en esta iniciativa un breve resumen. Aspectos importantes en las sabanas venezolanas como el papel del fuego en el ciclo regional del carbono y el papel de las especies exóticas (i.e gramíneas africanas), no ha sido abordado tampoco en esta revisión.

Referencias

- Ablan, M., Dávila, M., Hoeger, H.; Ramos, A., Rivas, E. and Zerpa, F. (2005). Modelling Fire Risk: The Upper Caroni Watershed Case. En: *Proceedings of the VI ASTED International Conference on Modelling, Simulation and Optimization*.
- AL-Ismaily, S.; AL-Maktoumi, A. (2011). Studying Soil Catena in Arid-zone Environment: Case Study for Soil Science Students. *Atlas Journal of Science Education*. 1 (2): 24-28.
- Acevedo, I.; Contreras, J.; González, R.; Acevedo, I.; García, O. (2014). Efecto de la aplicación de materia orgánica sobre las propiedades físicas y químicas de un suelo de huerto. *Revista Facultad de Agronomía (LUZ)*. 31: 325-340.
- Acevedo, I.; Vilorio, J.; Pire, R.; Mendoza, B.; Contreras, J. (2015). Memorias XXI Congreso Venezolano de Ciencias del suelo. San Cristóbal 6 p.
- Acevedo, I.; Contreras, J.; González, R.; Acevedo, I.; García, O. (2014). Efecto de la aplicación de materia orgánica sobre las propiedades físicas y químicas de un suelo de huerto. *Revista Facultad de Agronomía (LUZ)*. 31: 325-340.
- Álvarez, J.; Torres, D., Contreras, J.; Henríquez, M. (2011). Comportamiento de las variables edáficas de los Suelos del municipio Jiménez del estado Lara a partir de la información generada por el Laboratorio de suelos del decanato de agronomía de la UCLA. En: *Memorias XIX Congreso venezolano de la ciencia del suelo*. 6p.
- Álvarez, C. (2013). Condición física de los suelos limosos bajo siembra directa: caracterización, génesis y manejo. *Informaciones Agronómicas*. 10: 2-9.
- Andrade, O.; Briceño, J.; Erasmi, S.; Kappas, M.; Unda, J. (2010). Generación y mapeo de parámetros ambientales con fines de evaluación de tierras en el municipio Torres, Estado Lara, Venezuela. *Bioagro* 22(2):115-126.
- Aymard, G. (2017). Adiciones a la flora vascular de los Llanos de Venezuela: nuevos registros y estados taxonómicos. *BioLlania* (Edic. Esp.) 15: 5-50.
- Aymard, G. (2015). Bosques de los Llanos de Venezuela: estructura, composición florística, diversidad y estado actual de conservación. Pp 241-268. En: *Tierras Llaneras de Venezuela*, R. López-Falcón, J. M. Hétiér, D. López-H., R. Schargel & A. Zinck. (eds.). IRD-CIDIAT, Mérida, Venezuela.
- Aymard, G. y V. González. (2006). Consideraciones generales sobre la composición florística y diversidad de los bosques de los Llanos de Venezuela. Pp. 59-71. En: *Catálogo anotado e ilustrado de la flora vascular de los Llanos de Venezuela*, R. Duno de Stefano, G. Aymard & O. Huber (eds.). FUDENA-Fundación Empresas Polar-FIBV, Caracas, Venezuela.
- Ataroff, M.; García-Nuñez, C. (2013). Selvas y bosques nublados de Venezuela. En: E. Medina, O. Huber, J. Nassar y P. Navarro (Eds.). *Recorriendo el paisaje vegetal de Venezuela*. Ediciones IVIC, Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC). Pp. 125-155. Caracas, Venezuela.
- Baccini A., S. J. Goetz, W. S. Walker, N. T. Laporte, M. Sun, D. Sulla-Menashe, J. Hackler, P. S. A. Beck, R. Dubayah, M. A. Friedl, S. Samanta y R. A. Houghton. (2012). Estimated carbon dioxide emissions from tropical deforestation improved by carbon-density maps. *Nature Climate Change* 2: 182-185.
- Baruch Z. y Nozawa S. (2014). Abandoned coffee plantations: biodiversity conservation or path for non-native species? Case study in a neotropical montane forest. *Interciencia* 39 (8): 554-561
- Behling, H. & H. Hooghiemstra. (2001). Neotropical savanna environments in space and time: late Quaternary interhemispheric comparisons. Pp. 307-323. En: *Interhemispheric climate linkages*, V. Markgraf (ed.). Academic Press, Nueva York, Estados Unidos.
- Behling, H. & H. Hooghiemstra. (2000). Holocene Amazon rainforest-savanna dynamics and climatic implications: high-resolution pollen record from Laguna Loma Linda in eastern Colombia. *Journal of Quaternary Sciences* 15 (7) 687-695.
- Behling, H. & H. Hooghiemstra (1999). Environmental history of the Colombian savannas of the Llanos Orientales since the Last Glacial Maximum from lake records El Pinal and Carimagua. *Journal of Paleolimnology* 22: 461-476.

- Behling, H. & H. Hooghiemtra. (1998). Late Quaternary palaeoecology and palaeoclimatology from pollen records of the savannas of the Llanos Orientales in Colombia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 139: 251-267.
- Bevilaqua M., Cardenas L., Flores A.L., Hernandez L., Lares E., Mansutti A., Miranda M., Ochoa G., Rodriguez M. y Selig E. (2002). Situación de los bosques en Venezuela. La región Guayana como caso de estudio. *Observatorio Mundial de Bosques* (GFW). Erik Van Praag (ed.). Fundación Polar, Caracas, Venezuela, 132 p.
- Berrío, J. C., H. Hooghiemstra, H. Behling, P. Botero & K. van der Borg. (2002). Late Quaternary savanna history of the Colombian Llanos Orientales from lagunas Chenevo and Mozambique; a transect synthesis. *The Holocene* 12(1): 35-48.
- Berrío, J.C., H. Hooghiemstra, H. Behling. & K. van der Borg. (2000). Late Holocene history of savanna gallery forest from Carimagua area, Colombia. *Review of Palaeobotany and Palynology* 111: 295-308.
- Berry, P. E. O. Huber, & B. K. Holst. (1995c). Floristic Analysis and Phytogeography. In Berry, P. E., B. K. Holst, & K. Yatskievych (editors). *Flora of the Venezuelan Guayana. Volume 1. Introductory chapters, key to the families of seed plants, vegetation and topographical maps*. Timber Press, Portland, Oregon. 161-191.
- Berry, P. E., B. K. Holst, & K. Yatskievych (editors). (1995a). *Flora of the Venezuelan Guayana. Volume 2. Pteridophytes, Spermatophytes: Acanthaceae to Asclepiadaceae*. Timber Press, Portland, Oregon.
- Berry, P. E., B. K. Holst, & K. Yatskievych (editors). (1995b). *Flora of the Venezuelan Guayana. Volume 1. Introductory chapters, key to the families of seed plants, vegetation and topographical maps*. Timber Press, Portland, Oregon.
- Berry, P. E., B. K. Holst, & K. Yatskievych (editors). (1997). *Flora of the Venezuelan Guayana. Volume 3. Spermatophytes: Araliaceae to Cactaceae*. Missouri Botanical Garden, St. Louis. 774 pp.
- Berry, P. E., B. K. Holst, & K. Yatskievych (editors). (1998). *Flora of the Venezuelan Guayana. Volume 4. Spermatophytes: Caesalpiniaceae to Ericaceae*. Missouri Botanical Garden Press, St. Louis. 799 pp.
- Berry, P. E., K. Yatskievych & B. K. Holst (editors). (2001). *Flora of the Venezuelan Guayana. Volume 6. Spermatophytes: Liliaceae to Myrsinaceae*. 803 pp, 640 figs. Missouri Botanical Garden Press, St. Louis.
- Berry, P. E., K. Yatskievych & B. K. Holst (editors). (2003). *Flora of the Venezuelan Guayana. Volume 7. Spermatophytes: Myrtaceae to Plumbaginaceae*. 765 pp, 646 figs. Missouri Botanical Garden Press, St. Louis.
- Berry, P. E., K. Yatskievych & B. K. Holst (editors). (2004). *Flora of the Venezuelan Guayana. Volume 8. Poaceae to Rubiaceae*. 888 pp., 659 figs. Missouri Botanical Garden Press, St. Louis.
- Berry, P. E., K. Yatskievych & B. K. Holst (editors). (2005). *Flora of the Venezuelan Guayana. Volumes 9. Rutaceae to Zygophyllaceae*. 608 pp., 503 figs. Missouri Botanical Garden Press, St. Louis.
- Berry, P.E., K. Yatskievych & B.K. Holst (editors). (1999). *Flora of the Venezuelan Guayana. Volume 5. Spermatophytes: Eriocaulaceae to Lentibulariaceae*. 833 pp, 708 figs. Missouri Botanical Garden Press, St. Louis.
- Bilbao, B., Mistry, J., Méndez, C., Rivera, E. (2017). *Reporte: I Taller de trabajo de Diseño de planes de acción en cambio climático: Integrando las perspectivas desde lo local Indígena con la academia y las instituciones en el Parque Nacional Canaima*. Embajada Británica en la República Bolivariana de Venezuela, Caracas.
- Bilbao B., Rosales J., Marín S., Millán A., Salazar-Gascón R., Chani H., Pérez F., Leal A., Márquez M., Méndez C., Delgado-Cartay M.D., Alvarado M., Deza M., Hasmy Z., Lambos F., Lanz I., Machuca R., Parra M., Pedraza E., Picón G., Reyes F., Rodríguez D., Sánchez B., Zambrano E. (2017). Chureta ru to pomupök. integration of Indigenous and ecological knowledge for the restoration of degraded environments. En: Ceccon E and Pérez D R eds *Beyond restoration ecology: social perspectives in Latin America and the Caribbean*. Vázquez Mazzini Editores, Buenos Aires, 331-53.

- Bilbao, B.; Rivera-Lombardi, R.; Aguilar V. (2015). Análisis comparativo entre focos de calor detectados con el satélite MODIS/Aqua y la ocurrencia de incendios forestales en Venezuela (2000-2014). *En: XI Congreso Venezolano de Ecología*. Porlamar, del 09 al 12 de noviembre de 2015.
- Bilbao B., Leal, A., Méndez, C. and Delgado-Cartay, M. D. (2009). The role of fire on vegetation dynamics of upland savannas of the Venezuelan Guayana, in: Cochrane, M. A. (ed.), *Tropical Fire Ecology: Climate Change, Land Use and Ecosystem Dynamics*. Heidelberg, Germany: Springer-Praxis.
- Bilbao, B., Leal, A. and Mendez, C. (2010). Indigenous use of fire and forest loss in Canaima National Park, Venezuela: Assessment of and tools for alternative strategies of fire management in Pemón indigenous lands. *Human Ecology*, 38 (5): 663-673.
- Birch-Thomsen, T.; Elberling, B.; Fog, B.; Magid, J. (2007). Temporal and spatial trends in soil organic carbon stocks following maize cultivation in semi-arid Tanzania, East Africa. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 79: 291–302.
- Blavia, F.; Florido, J. (1973). *Caracterización de las prácticas de riego en suelos de la depresión de Quíbor, Estado Lara. Barquisimeto*, MOP. Oficina Edafológica Centro Occidental. 116 p.
- Bogdonoff, P.; Detwiler, R.; Hall, C. (2000). Land Use Change and Carbon Exchange in the Tropics: III. structure, basic equations and sensitivity analysis of the model. *Environmental Management* 9:345-354.
- Böhning-Gaese, K.; Jetz, W.; Schaefer, H. (2008). Impact of climate change on migratory birds: community reassembly versus. *Global Ecology and Biogeography*. 17:38-49.
- Bowman DM, Balch JK, Artaxo P, Bond WJ, Carlson JM, Cochrane MA, D'Antonio CM, Defries RS, Doyle JC, Harrison SP, Johnston FH, Keeley JE, Krawchuk MA, Kull CA, Marston JB, Moritz MA, Prentice IC, Roos CI, Scott AC, Swetnam TW, van der Werf GR, Pyne SJ. (2009). Fire in the Earth system. *Science* 324 (5926): 481-4. doi: 10.1126/science.1163886.
- Brady, N.; Weil, R. (2008). *The Nature and Properties of Soils*. 14th Edition. Prentice Hall. 965 p.
- Briceño E, L Balbás & J. Blanco. (1997). Bosques ribereños del Bajo Rio Caura: Vegetación, Suelo y Fauna. *En: Ecología de la Cuenca del Río Caura, Venezuela II*. (O. Huber & N. Dezzee, Eds.), pp. 259-289. Scientia Guaianae N° 7. Caracas.
- Buurman, P; Amezcuita, M; Ramírez, H. (2008). Factors affecting soil C stocks: a multivariate analysis approach. *En: L. Mannelje, M. Amézquita, P. Buurmann, M. Ibrahim. (Eds). Carbon sequestration in tropical grassland ecosystems*. Pp. 118-139. Wageningen, NL.
- Campitelli, P.; Aoki, A.; Gudelj, O.; Rubenacker A.; Sereno, R. (2010). Selección de indicadores de calidad de suelo para determinar los efectos del uso y prácticas agrícolas en un área piloto de la región central de Córdoba. *Ciencia del Suelo* 28: 223-231.
- Carr, A., S. Armitage, J. C. Berrío, B. Bilbao & A. Boom. (2016). An optical luminescence chronology for late Pleistocene Aeolian activity in the Colombian and Venezuelan Llanos. *Quaternary Research* 85 (2): 299-312.
- Casanova, E.; Rivero, C. (2006). Efecto de fuentes alternativas de fertilizantes con el método de la fertirrigación sobre la nutrición mineral y rendimientos de bananos en una finca del estado Aragua, Venezuela. *Agronomía Tropical*, 56(3): 325-344.
- Castillo, MM; San José, JJ; Montes, RA; Aguirre, E; Thielen, DR; Buendía, C. (2012). Effects of land use changes on stream water quality in land/inland water ecotones (morichals) of the Orinoco lowlands. *Fundamental of Applied Limnology*, 181(2):113-127.
- Celaya, H.; Castellano, A. (2011). Mineralización del nitrógeno en el suelo de zonas áridas y semiáridas. *Terra*. 29:343-356.
- Chacón N y N. Dezzee. (2004). Phosphorus fractions and sorption processes in soil samples taken in a forest-savanna sequence of the Gran Sabana in southern Venezuela. *Biology and Fertility Soils*. 40: 14-19. DOI 10.1007/s00374-004-0733-7.
- Chacón-Moreno, E. (2004). Mapping savanna ecosystems of the Llanos del Orinoco using multitemporal NOAA satellite imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 5: 41–53.
- Chacón-Moreno, E. (2007). *Mapping ecosystems, landscape changes, and plant species distribution in Llanos del Orinoco, Venezuela*. Tesis de PhD. Wageningen University, Holanda, 238 p.

- Chacón-Moreno E., Ulloa A., Llambí L., Acevedo D. y Utrera A. (2015). PAISAJES Y ECOSISTEMAS LLANEROS: ECOLOGÍA Y CONSERVACIÓN. Pp: 195-240. En: *Tierras Llaneras de Venezuela*, R. López-Falcón, J. M. Hétier, D. López-H., R. Schargel & A. Zinck. (eds.). IRD-CIDIAT, Mérida, Venezuela.
- Chave J., C. Andalo, S. Brown, M. A. Cairns, J. Q. Chambers, D. Eamus, H. Fölster, F. Fromard, N. Higuchi, T. Kira, J.-P. Lescure, B. W. Nelson, H. Ogawa, H. Puig, B. Riera, T. Yamakura. (2005). *Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests*. *Oecologia* 145: 87–99. DOI 10.1007/s00442-005-0100-x.
- Clark, H., R. Liesner, P.E. Berry, A. Fernández, G. Aymard y P. Maquirino, con ilustraciones de B. Manara. (2000). Catálogo anotado de la Flora del área de San Carlos de Río Negro, Venezuela. En O. Huber y E. Medina (editores). *Flora y vegetación de San Carlos de Río Negro y alrededores, Estado Amazonas, Venezuela*. *ScientiaGuaiana* 11:101-316.
- Cochrane, M. (2009). Fire in the tropics. En: Cochrane, M. A. (ed.), *Tropical Fire Ecology: Climate Change, Land Use and Ecosystem Dynamics*. Heidelberg, Germany: Springer-Praxis. Pp 1 – 34.
- Contreras, J.; Acevedo, I.; Agüero, I.; González, R. (2014). Caracterización físicoquímica de dos suelos bajo el cultivo de melón en la zona semiárida de Río Tocuyo. *Revista Facultad de Agronomía(LUZ)*. 2014 Supl. 1: 119-129.
- Corporación Andina de Fomento (CAF). (2000). *Las lecciones de El Niño. Memorias del Fenómeno El Niño 1997-1998. Retos y Propuestas para la Región Andina. Volumen VI. Venezuela*. Recuperado de: <http://publicaciones.caf.com/media/1288/112.pdf>
- COPLANARH. (1975). *Inventario nacional de tierras*. Publicación N°43. Tomos 1 y 2. Caracas.
- COPLANARH. (1975). *Regiones Costa Noroccidental, Centro Occidental y Central*, Publicación N° 43. Comisión del Plan Nacional de Aprovechamiento de los Recursos Hidráulicos, Caracas.
- CVG-TECMIN. (1987-1991). *Proyecto Inventario de los Recursos Naturales de la Región Guayana*. CVG Técnica Minera, C.A., Gerencia de Proyectos Especiales.
- Cuenca, G.; Andrade, Z; Lovera, M; Fajardo, L; and Erasmo Meneses, (2004). The effect of two arbuscular mycorrhizal inocula of contrasting richness and the same mycorrhizal potential on the growth and survival of wild plant species from La Gran Sabana, Venezuela. *Canadian Journal Of Botany*, 82: 582-589
- Darunsontaya, T.; Suddhiprakarn, A.; Kheoruenromne, I.; Prakongkep, N.; Gilkes, R. 2012. The forms and availability to plants of soil potassium as related to mineralogy for upland oxisols and ultisols from Thailand. *Geoderma*, 170, 11-24.
- Delgado L, Castellanos H and Rodríguez M. (2009). Capítulo 2: La Vegetación. In: Celsa Señaris J, Lew D and Lasso C (eds). *Biodiversidad del Parque Nacional Canaima: bases técnicas para la conservación de la Guayana venezolana*. Caracas: Fundación La Salle de Ciencias Naturales and The Nature Conservancy, pp. 39–73.
- Delgado, M.; Maestre, F.; Gallardo, A.; Bowker, M.; Wallenstein, M.; Quero, J.; García, P. (2013). Decoupling of soil nutrient cycles as a function of aridity in global drylands. *Nature* 502(7473):672-676.
- De Sy, V., M Herold, F Achard, R Beuchle, J G P W Clevers, E Lindquist y L Verchot. (2015). Land use patterns and related carbon losses following deforestation in South America. *Environmental Research Letters* 10: 124004. doi:10.1088/1748-9326/10/12/124004.
- Dezseo N., Hernández L. y Folster H. (1997). Canopy dieback in lower montane forests of Alto Uriman, Venezuelan Guayana. *Plant Ecology* 132: 197-209.
- Dezseo, N. & E. Briceño. (1997). La Vegetación en la Cuenca del Río Chanaro: Medio Río Caura. En: *Ecología de la Cuenca del Río Caura, Venezuela II*. (O. Huber & N. Dezseo Eds.), pp. 365-385. *Scientia Guaiana* N°7. Caracas.
- Dezseo, N. & H. Fölster. (1994). Los suelos. En: *Ecología de la Altiplanicie de la Gran Sabana (Guayana Venezolana) I*. (N. Dezseo, ed.), pp. 45-78. *Scientia Guaiana* N° 4. Caracas.
- Duno de Stefano, G. Aymard & O. Huber (eds.). (2006). *Catálogo anotado e ilustrado de la flora vascular de los Llanos de Venezuela*. FUDENA-Fundación Empresas Polar-FIBV, Caracas, Venezuela.
- EDELCA-CORPOELEC (2004). *Plan Maestro de la Cuenca del Río Caroní*. Electrificación del Caroní C.A.

- EDELCA-CORPOELEC. (2004). *La Cuenca del Río Caroní. Una visión en cifras*, Corporación Eléctrica Nacional/EDELCA, Puerto Ordaz, Venezuela.
- EDELCA-CORPOELEC. (2008). *La Cuenca del río Caroní. Una visión en cifras*, Corporación Eléctrica Nacional / EDELCA, Puerto Ordaz, Venezuela.
- Eloy, L., Bilbao, B., Mistry, J., Schmidt, I. (2017). From fire suppression to fire management: advances and resistances to changes in fire policy in the savannas of Brazil and Venezuela. *The Geographical Journal* (In Press).
- Emiru, N.; Gebrekidan, H. (2013). Effect of land use changes and soil depth on soil organic matter, total nitrogen and available phosphorus contents of soils in Senbat watershed, Western Ethiopia. *ARPN Journal of Agricultural and Biological Science* 8, 3-8.
- Espinoza, Y. (2010). Efecto de la labranza sobre la materia orgánica y tamaño de agregados en un suelo cultivado con maíz en condiciones tropicales. *Bioagro*. 22:177-184.
- Espinoza, Y.; Lozano, Z.; Velásquez, L. (2007). Efecto de la rotación de cultivos y prácticas de labranza sobre las fracciones de la materia orgánica del suelo. *Interciencia*. 32:554-559.
- Esteves, J. y D. A. Dumith. (1998). *Diversidad biológica en Amazonas. Bases para una estrategia de gestión*. Fundación Polar. Servicio Autónomo para el Desarrollo Ambiental del Amazonas, Sada Amazonas – Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, PNUD. GráficasAcea. 142 pp.
- Fajardo, L.; González, V.; Nassar, J.; Lacabana, P.; Portillo, C.; Carrasquel, F.; Rodríguez, J.P. (2005). Tropical dry forests of Venezuela: characterization and current conservation status. *Biotropica* 37: 531-546.
- FAO. (2007a). *Manejo del Fuego: principios y acciones estratégicas. Directrices de carácter voluntario para el manejo del fuego*. Documento de Trabajo sobre el Manejo del Fuego No.17. Roma (Recuperado de www.fao.org/forestry/site/35853/en).
- FAO. (2007b). *Secuestro de Carbono en Tierras Áridas. Informes sobre recursos mundiales de suelo*. N° 102. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/a-y5738s.pdf>.
- FAO. (2005). *Sistema de clasificación de la cobertura de la tierra. Conceptos de clasificación y manual para el usuario*. Versión 2 del programa. Environment and natural resources series. N° 8. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia.
- FAO. (2002). *Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra*. Informes sobre recursos mundiales de suelos. Roma.
- FAO. (2001). *Soil carbón sequestration for improved land management*. World soil reports 96. Rome, 58 p.
- Fernández, A.; Villafañe, R.; Hernández, R. (2011). Calidad del agua de riego y afectación de los suelos por sales en la península de Paraguaná, Venezuela. *Agronomía Tropical* 61 (3-4):253-261.
- Ferrer, E.; De Paz, H. (1985). *Análisis ambiental de la región centoccidental de Venezuela*. FUDECO. Barquisimeto 257 p.
- Ferreras, L.; Magra, G.; Besson, P.; Kovalevski, E.; García, F. (2007). Indicadores de calidad física en suelos de la Región Pampeana Norte de Argentina bajo siembra directa. *Ciencia del Suelo* 25: 159-172.
- Flantua S, Bilbao B, Rosales J. (2013). Indigenous land use and land cover changes in the National Park of Canaima, Venezuela: Pemo'n Sector II Kamarata. In Capítulo 11: *Libro Escudo Guianes, biodiversidade, conservacao dos recursos naturais e cultura* (eds LT Lopes, S Arley, J Silveira da Costa, ER Baptista), pp. 209–224. Belem, Georgetown: NAEA, GSF.
- FRA (2010). *Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales*. Informe Nacional de la República Bolivariana de Venezuela. Departamento Forestal. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Roma, Italia. Recuperado de: www.fao.org/forestry/es.
- FRA (2015). *Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales*. Informe Nacional: Venezuela. Departamento Forestal. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Roma, Italia. Recuperado de: www.fao.org/forestry/es.
- Gabaldón, A.J. (2008). El cambio climático y sus posibles efectos sobre Venezuela. *Humanía del Sur*. 3:13-32.
- Gásperi, R. (1982). *Principios básicos de erosión y conservación de suelos*. Suplemento Técnico, 28, 1-203. Barquisimeto: Fundación para el Desarrollo de la Región Centro Occidental de Venezuela.

- Giglio, L., Randerson, J. T., van der Werf, G. R. (2013). Analysis of daily, monthly, and annual burned area using the fourth-generation global fire emissions database (GFED4). *Journal Geophysical Research* 118: 317–328.
- Gómez, A.; Schnabel, S.; Lavado, F. (2011). Procesos, factores y consecuencias de la erosión por cárcavas; trabajos desarrollados en la Península Ibérica. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles* 55:59-80
- González, V. (2007). La vegetación de la Isla de Margarita y sus interrelaciones con el ambiente físico. *Memoria de la Fundación La Salle de Ciencias Naturales*. 167:131-161.
- González de Juana, C., J. M. Iturralde & X. Picardi. (1980). *Geología de Venezuela y sus cuencas petrolíferas. Tomo II. Primera Edición*. Ediciones FONINVES, Caracas, Venezuela. 712 p.
- Gloor, M., L. Gatti, R. Brienen, T. R. Feldpausch, O. L. Phillips, J. Miller, J. P. Ometto, H. Rocha, T. Baker, B. de Jong¹, R. A. Houghton, Y. Malhi, L. E. O. C. Aragao, J.-L. Guyot, K. Zhao, R. Jackson, P. Peylin, S. Sitch, B. Poulter, M. Lomas, S. Zaehle, C. Huntingford, P. Levy y J. Lloyd. (2012). The carbon balance of South America: a review of the status, decadal trends and main determinants. *Biogeosciences* 9: 5407–5430.
- Guo, L.; Gifford, R. (2002). Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis. *Global Change Biology* 8:345-360.
- Gómez, E., Picón, G. and Bilbao, B. (2000). Los incendios forestales en Iberoamérica. Caso Venezuela. In: *La defensa contra incendios forestales. Fundamentos y experiencias*. R. Vélez-Muñoz (ed.). McGraw-Hill, Madrid.
- González, O., M. Bezada, Z. Millán y J. Carrera. (2013). Cambios paleoambientales durante el pleistoceno tardío holoceno de la cuenca del río Portuguesa, llanos centro-occidentales, Venezuela. *Interciencia* 38: 696-704.
- Grace J., San José J., Meir P., Miranda H.E., Montes R. (2006). Productivity and carbon influxes of tropical savannas. *Journal of Biogeography* 33: 387-400.
- Haug, G., K. Hughen, D. Sigman, L. Peterson y U. Röhl. (2001). Southward migration of the Intertropical Convergence Zone through the Holocene. *Science* 293: 1304-1308.
- Haylock, M.; Peterson, T.; Alves, L.; Ambrizzi, T.; Anunciação, Y.; Baez, J.; Barros, V.; Berlato, M. (2006). Trends in total and extreme South American rainfall 1960-2000 and links with sea surface temperature. *Journal Climate*, 19: 1490-1512.
- Hernández, L. (2008). Cambio global y su relación con la conservación y el uso de los bosques neotropicales. *Revista Forestal Venezolana* 52(1): 101-108.
- Hernández, L. y Folster H. (1994). Vegetación en transición. Pp: 118-144. En: Dezzio N (ed.). *Ecología de la Altiplanicie de la Gran Sabana (Guayana Venezolana) I*. Scientia Guianae 4.
- Hernández, R. (2008). *Caracterización de la sequía meteorológica en los climas Árido, Semiárido y Subhúmedo seco en los Llanos Centro Orientales de Venezuela, para el manejo de los recursos hídricos*. Tesis para optar al Grado de Magister en Gerencia Ambiental. UNEFA-CIP). Caracas, Venezuela. 216 p.
- Hontoria C.; Rodríguez, J.; Saá, A. (2004). Contenido de carbono orgánico en el suelo y factores de control en la España Peninsular. *Edafología*. 11:149-157.
- Houghton, R.A.; Woodwell, G.M. (1989). Global climatic change. *Scientific American* 260:36-44.
- Houghton, R.; Boone, R.; Fruci, J.; Hobbie, J.; Melillo, J.; Palm, C.; Peterson, B.; Shaver, G.; Woodwell, G.; Moore, B.; Skole, D.; Myers, N. (1987). The flux of carbon from terrestrial ecosystems to the atmosphere in 1980 due to changes in land use: geographic distribution of the global flux. *Tellus*. 39(B):122–139.
- Houghton, R. A., F. Hall, and S. J. Goetz. (2009). Importance of biomass in the global carbon cycle. *Journal Geophysical Research* 114, G00E03, doi:10.1029/2009JG000935.
- Houghton, R.A., G. R. van der Werf, R. S. DeFries, M. C. Hansen, J. I. House, C. Le Queré, J. Pongratz y N. Ramankutty. (2012). Carbon emissions from land use and land-cover change. *Biogeosciences Discussions* 9: 835–878. Recuperado de: www.biogeosciences-discuss.net/9/835/2012/doi:10.5194/bgd-9-835-2012.

- Howorth, R., & Colonnello, G. (2005). Sucesión secundaria como consecuencia de diferentes tipos de usos de la tierra en bosques pluviales montanos en la cordillera de La Costa Central (Venezuela). *Memoria de la Fundación La Salle de Ciencias Naturales*: 161-156.
- Huber, O.; Alarcón, C. (1988). *Mapa de vegetación de Venezuela 1:2.000.000*. The Nature Conservancy, MARNR, Oscar Todtmann Editores. Caracas, Venezuela.
- Huber O. & H. Fölster. (1994). Vegetación. En: *Ecología de la Altiplanicie de la Gran Sabana (Guayana Venezolana) I*. (N. Dezzeo, ed.) pp. 79-144. Scientia Guaianae N° 4. Caracas.
- Huber, O. (1995a). Geographical and physical features. Pp. 1-61 En: P.E. Berry, B.K. Holst & K. Yatskievych (eds.). *Flora of the Venezuelan Guayana Vol. 1: Introduction*. Missouri Botanical Garden: St. Louis, Missouri & Timber Press: Portland, Oregon.
- Huber, O. (1995b). Vegetation. Pp. 97-160. En: P.E. Berry, B.K. Holst & K. Yatskievych (eds.). *Flora of the Venezuelan Guayana Vol. 1: Introduction*. Missouri Botanical Garden: St. Louis, Missouri & Timber Press: Portland, Oregon.
- Huber, O. y S. Zent. (1995). Indigenous people and vegetation in the Venezuela Guayana: Some ecological considerations. *Scientia Guaianae* 5: 37-64
- Huber O. y Oliveira-Miranda T. (2010). Ambientes terrestres de Venezuela. En: Rodríguez, J.P.; Rojas-Suárez, F.; Giraldo-Hernández, D. (eds.), *Libro Rojo de los Ecosistemas Terrestres de Venezuela*. Provita, Shell Venezuela, Lenovo (Venezuela). Caracas: Venezuela. 324 pp.
- INE: Instituto Nacional de Estadística. (2011a). *Censo de Población y Vivienda*. Recuperado de: <http://www.ine.gov.ve/CENSO2011/>.
- INE: Instituto Nacional de Estadística. (2011b). *Informe Geoambiental. Estado Falcón*. Recuperado de: http://www.ine.gov.ve/documentos/Ambiental/PrinIndicadores/pdf/Informe_Geoambiental_Falcon.pdf
- IPCC. (2007). *Cambio climático 2007: Informe de síntesis*. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 p.
- IPCC. (1996). *Climate change 1995. Impacts, adaptations and mitigation of climate change: scientific, technical analyses*. Working Group II. Cambridge, RU, Cambridge University Press.
- INAMEH: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2016). *Caracterización de la sequía meteorológica*. Recuperado de: <http://www.inameh.gob.ve/web/monitoreo/monitoreo.php>. Acceso el 01/11/2016.
- INPE: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. (2016). *Programa de Monitoramento de Queimadas*. Recuperado de: <http://www.dpi.inpe.br/proarco/bdqueimadas/>. Acceso el 01/11/2016.
- Jaccard, P. (1908). Nouvelles recherches sur la distribution florale. *Bull. Soc. Vaud. Sc. Nat.* 44:223-270. Recuperado de: <http://retro.seals.ch/digbib/view?pid=bsv-002:1908:44::485>.
- Jaurixje, M.; Torres, D.; Mendoza, B.; Henríquez, M.; Contreras, J. (2013). Propiedades físicas y químicas del suelo y su relación con la actividad biológica bajo diferentes manejos en la zona de Quíbor, Estado Lara. *Bioagro* 25(1): 47-56.
- Jiang, J.; Cheng, L.; Li, M.; Zhao, R.; Duan, Y. (2015). Impacts of LUCC on soil properties in the riparian zones of desert oasis with remote sensing data: A case study of the middle Heihe River basin, China. *Science of the Total Environment* 506–507:259–271.
- Jörn PW Scharlemann, Edmund VJ Tanner, Roland Hiederer & Valerie Kapos (2014) Global soil carbon: understanding and managing the largest terrestrial carbon pool. *Carbon Management*, 5:1, 81-91, DOI: 10.4155/cmt.13.77.
- Julca-Otiniano, A.; Meneses-Florián, L.; Blas-Sevillano, R.; Bello-Amez, S. (2006). La materia orgánica, importancia y experiencias de su uso en la agricultura. *Idesia*. 24:49-61.
- Kingsbury N. (1999). *Increasing pressure on decreasing resources: A case study of Pemón Amerindian shifting cultivation in the Gran Sabana, Venezuela*. PhD Thesis, York University.
- Kingsbury N. (2001). Impacts of land use and cultural change in a fragile environment: Indigenous acculturation and deforestation in Kavanayén, Gran Sabana, Venezuela. *Interciencia* 26: 327–336.

- Köchy M., Hiederer R. y Freibauer A. (2015). Global distribution of soil organic carbon – Part 1: Masses and frequency distributions of SOC stocks for the tropics, permafrost regions, wetlands, and the world. *Soil* (1): 351-365.
- Krull, E.; Baldock, J.; Skjemstad, J. (2001). Soil texture effects on decomposition and soil carbon storage. En: *Net Ecosystem Exchange: Workshop Proceedings*. 18-20:103-110. Canberra, Australia. Recuperado de: http://www.greenhouse.crc.org.au/crc/ecarbon/publications/nee/chapter14_soiltexture.pdf.
- Lal, R. (2008). *La función de la materia orgánica del suelo en el ciclo global del carbono*. En: *Informe de la Conferencia Cambio Climático: ¿El Suelo Puede Cambiar las Cosas?* Luxemburgo. Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas. 32 p. Recuperado de: http://ec.europa.eu/environment/archives/soil/pdf/report_conference_es.pdf.
- Lal, R. (2001). The potential of soils of the tropics to sequester carbon and mitigate the greenhouse effect. *Advances in Agronomy*. 76: 1–30.
- Lallemant, H. A. (2005). Caribbean - South American Plate Interactions, Venezuela. . (H. G. Sisson., Ed.) USA : *The Geological Society of America*. Special paper 394.
- Lars, J., Munkholm, R., Heck, J., Dee, B. (2013). Long-term rotation and tillage effects on soil structure and crop yield. *Soil Tillage Research* 127: 85-91.
- Lasso C., Rial A. y González V. eds. (2013). VII. *Morichales y cananguchales de la Orinoquia y Amazonia: Colombia-Venezuela. Parte I*. Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia. Instituto de Investigaciones y Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Bogotá, Colombia, 344 p.
- Lasso, C. A., O. M. Lasso-Alcala y H. Rojas. (2009). Capítulo 3. Peces del Parque Nacional Canaima. Pp 77 - 99. En: Senaris, J. C., D. Lew y C. Lasso (eds.). 2009. *Biodiversidad del Parque Nacional Canaima: bases técnicas para la conservación de la Guayana venezolana*. Fundación La Salle de Ciencias Naturales y The Nature Conservancy. Caracas.
- Leal A (2010) *Historia holocena de la vegetación y el fuego en bordes sabana-bosque y turberas de la Gran Sabana, Guayana Venezolana*. PhD Thesis, Universidad Simon Bolivar.
- Leal, A., T. Pérez y B. Bilbao. (2011). Contribution to early Holocene vegetation and climate history of eastern Orinoco Llanos, Venezuela, from a paleoecological record of a Mauritia L.f. swamp. *Acta Amazonica* 41: 513-520.
- Leal A y Bilbao B (2011) Cambios de vegetación durante el Holoceno tardío en un morichal de los Llanos del Orinoco, Venezuela. *Acta Botanica Venezuelica* 34: 237–256.
- Leal A, Bilbao B y Berrío J (2013) A Contribution to pollen rain characterization in forest-savanna mosaics of the Venezuelan Guayana and its use in vegetation reconstructions from sedimentary records. *American Journal of Plant Sciences* 4(7A): 33–52.
- Leal A., Bilbao B., Berrío J.C., Behling H., Montoya J.V. y Méndez C. (2016). Late-Holocene gallery forest retrogression in the Venezuelan Guayana: New data and implications for the conservation of a cultural landscape. *The Holocene* 26(7): 1049-1063.
- Lemus, L.; Ramírez, N. (2002). Fenología reproductiva en tres tipos de vegetación de la planicie costera de la Península de Paraguaná. *Acta Científica Venezolana*. 53:266-278.
- Lew, D. B. Rivas, H. Rojas y A. Ferrer. (2009). Capítulo 6. Mamíferos del Parque Nacional Canaima. Pp 153 - 179. En: Senaris, J. C., D. Lew y C. Lasso (eds.). 2009. *Biodiversidad del Parque Nacional Canaima: bases técnicas para la conservación de la Guayana venezolana*. Fundación La Salle de Ciencias Naturales y The Nature Conservancy. Caracas.
- Lobo, D.; Gabriels, D.; Torres, D.; Depaola, G. (2010). Use of synthetic (Hydrogel) and organic soil conditioners to improve the water use efficiency for green pepper cultivation. *Arid and Semi Arid Development through Water Augmentation*:42-52.
- López-Falcón R., Hétier J.M., López-Hernández D., Schargel R. y Zinck A. (2015). *Tierras Llaneras...tierras de buena esperanza*. Volúmen 1: Monografía Regional. IRD-CIDIAT, Mérida, Venezuela, 860 p.
- López-Hernández D. (2015). Producción primaria y ciclos biogeoquímicos del nitrógeno y del fósforo en las sabanas llaneras de trachypogon. Pp: 302-332. En: *Tierras Llaneras de Venezuela*, R. López-Falcón, J. M. Hétier, D. López-H., R. Schargel & A. Zinck. (eds.). IRD-CIDIAT, Mérida, Venezuela.

- Lozada, B. (2002). Estudio de la influencia de los fenómenos El Niño y La Niña en la precipitación de la región centro-occidental de Venezuela. *Revista Brasileira de Agrometeorología*. 10:317-322.
- Maestre, F.; Quero, J.; Gotelli, N.; Escudero, A.; Ochoa, V.; Delgado, M.; García, M.; Bowker, M.; Soliveres, S.; Escolar, C. (2012). Plant species richness and ecosystem multifunctionality in global drylands. *Science* 335: 214–218.
- Maestre, F.; Delgado, M.; Jeffries, T.; Ochoa, V.; Gózaló, B.; Eldridge, D.; Quero, J.; García, M.; Gallardo, A.; Ulrich, W.; Bowker, M.; Arredondo, T.; Barraza, C.; Bran, D.; Florentino, A.; Gaitán, J.; Gutiérrez, J.; Huber, E.; Jankju, M.; Mau, L.; Miriti, M.; Naseri, K.; Ospina, A.; Stavi, I.; Wang, D.; Woods, N.; Yuan, X.; Zaady, E.; Singh, B. (2015). Increasing aridity reduces soil microbial diversity and abundance in global drylands. En: *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 112: 15684–15689.
- Magrin, G.; Gay García, C.; Cruz Choque, D.; Giménez, J.C.; Moreno, A.R.; Nagy, G.J.; Nobre, C.; Villamizar, A. (2007): *Latin America. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, Pp. 581-615.
- Malhi, Y.; Baldocchi, D.; Jarvis, P. (1999). The Carbon Balance of Tropical, Temperate and Boreal Forests. *Plant, Cell and Environment*. 22: 715-740.
- Malhi Y., Wood D., Bakers T., Wright J., Phillips O., Cochrane T., Meir P., Chave J., Almeida S., Arroyo L., Higuchi N., Killeen T., Laurance S., Laurance W., Lewis S., Monteagudo A., Neill D., Nuñez-Vargas P., Pitman N., Quesadas C., Salomao R., Silva J., Lezama A., Terborgh J., Martinez R. y Vinceti B. (2006). The regional variation of aboveground live biomass in old-growth Amazonian forests. *Global Change Biology* 12: 1-32.
- MARNR. (1983). *Sistemas Ambientales Venezolanos. Regiones naturales: 7B Andes Venezolanos, 11 Sistema montañoso Falcón Lara, 12 Depresión de Carora, 16 Macizo coriano subhúmedo y 22 Serranía del Interior*. Proyecto VEN/79/001. Caracas. Venezuela.
- MARNR (1983-1996). *Mapa de la vegetación de Venezuela 1:250.000* [electrónico]. D. Rodríguez (coord.). Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables (MARNR), Dirección General de Información e Investigación de Ambiente, División de Vegetación: Caracas. 4x hojas.
- Marteló M.T. (2003). *La precipitación en Venezuela y su relación con el sistema climático*. Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales. Dirección de Cuencas Hidrográficas, Caracas, 72 p.
- Marteló, M T. (2004). *Consecuencias ambientales generales del cambio climático en Venezuela*. Dirección de Hidrología, Meteorología y Oceanología-Dirección General de Cuencas Hidrográficas-MARN, Caracas, Venezuela. 112 p.
- Martínez, S.; Faz, A.; Esteve, M. (2009). Contenido en carbono orgánico del proceso de desertificación en suelos desarrollados de material parental volcánico en la región de Murcia, Pp. 327-330. En: Romero A, Belmonte F, Alonso F, López F (Eds). *Avances en estudios sobre desertificación: aportaciones al Congreso Internacional sobre Desertificación en memoria del profesor John B. Thornes*. Murcia, España. Recuperado de: <http://congresos.um.es/icod/icod2009/paper/viewFile/4881/4541>.
- Martínez, E.; Fuentes, J. P.; Acevedo, E. (2008). Carbono Orgánico y las Propiedades del Suelo. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal* 8: 68-96.
- Maseda, C. (2013). *Uso de la tierra y su efecto en las reservas de carbono en suelos agrícolas de la Península de Paraguaná*. Trabajo Especial de Grado para optar al título de Licenciado en Ciencias Ambientales de la UNEFM, Coro, estado Falcón. 125 p.
- Mata, L. (1996). A study of climate change impacts on the forest of Venezuela. En *Adapting to Climate Change: Assessment and Issues*, ed Smith, J., N. Bhatti, G. Menzhulin, R. Benioff, M. Budyko, M. Campos, B. Jallow y F. Rijsberman. Springer-Verlag.
- Matteucci, S.; Colma, A.; Pla, L. (1999a). Bosques secos tropicales del estado Falcón, Venezuela. En: S.D. Matteucci; O.T. Solbrig; J. Morello y G. Halffter (eds). 1999. *Biodiversidad y uso de la tierra. Conceptos y ejemplos de Latinoamérica*. EUDEBA-UNESCO, Buenos Aires. Pp. 399-420.
- Matteucci, S.; Colma, A.; Pla, L. (1999b). Biodiversidad vegetal en el árido falconiano (Venezuela). *Interciencia*. 24:300-307.

- Matteucci, S., Colma, A. (1997). Agricultura sostenible y ecosistemas áridos y semiáridos de Venezuela. *Interciencia*. 22:123-130.
- Matteucci, S.; Colma, A. (1988). Arid land ecosystems of Falcon State, Venezuela: their natural resources and land uses. En: *Proceedings of the International Arid Lands Research and Development Conference; Arid Lands Today and Tomorrow*, Westview Press, Boulder, Colorado, USA, Pp. 1103-1119.
- Matteucci, S.; Colma, A.; Acosta, Y. (1991). Potencial productivo de los cujizales en el árido falconiano. *Interciencia* 16: 313-321.
- Matteucci, S. (1987). The vegetation of Falcón State, Venezuela. *Vegetatio* 70:67-91.
- Matteucci, S. (1986). Las zonas áridas y semiáridas de Venezuela. *Zonas Áridas* 4: 39-48.
- Matteucci, S.; Colma, A. (1986). Caracterización climática del Estado Falcón. *Acta Científica Venezolana*. 37:63-71.
- Matteucci, S.; Colma, A.; Pla, L. (1985). Multiple purposes land mapping and resources inventory. *Environmental Management* 9: 231-242.
- Matteucci, S., Colma, A., Pla, L. (1982a). Desertification Map of Falcon State. *Environmental Conservation*. 9: 217-224.
- Matteucci, S., Colma, A., Pla, L. (1982b). Análisis ecológico regional del estado Falcón. *Acta Científica Venezolana*. 33:78-87.
- Meier, W. (2011). Los Bosques Nublados de la Cordillera de la Costa en Venezuela. *BioLlania* Edición especial 10, 106-121.
- Medina, E.; Francisco, A.; Wingfield, R.; Casañas, O. (2008). Halofitismo en plantas de la costa Caribe de Venezuela: Halófitas y Halotolerantes. *Acta Botanica Venezuelica* 31:49-80.
- Mendiara, S. (2012). *Efecto de los usos del suelo en la emisión de dióxido de carbono del suelo a la atmósfera en un agroecosistema semiárido del Valle del Ebro*. Trabajo Final de Carrera para optar al título de Ingeniera Técnica Agrícola. Universitat de Vic, Escola Politècnica Superior. Zaragoza, España. 82 p. Recuperado de: http://repositori.uvic.cat/bitstream/handle/10854/1889/trealu_a2012_mendiara_sarah_efecto.pdf?sequence=1
- Mendoza, N.; Puche, M. (2007). Evaluación de la ocurrencia de sequía en localidades de Venezuela. *Revista Facultad de Agronomía (LUZ)*. 24: 661-678.
- Mendoza, B.; Florentino, A.; Hernández, R.; Aciego, J.; Torres, D.; Vera, E. (2013). Atributos biológicos de dos suelos de Quibor con aplicación de abono orgánico y soluciones salinas. *Revista Mexicana de ciencias agrícolas*, 4(3), 409-421.
- Meza. (1996). *Memoria descriptiva del mapa de vegetación del parque nacional "El Ávila" distrito federal y estado miranda*. Escala 1:100000. Series de informes técnicos DGSIA/IT/356. 75 pp.
- Middleton, N.; Thomas, D. (1997). *World Atlas of Desertification, 2nd.ed*. London: Arnold. 182 p.
- Millán, A.; Bilbao, B.; Yerena, E.; Sánchez-Rose, I.; Salazar, R.; Marín, S. (2013). Manejo intercultural del fuego como herramienta para la conservación del Parque Nacional Canaima, Guayana Venezolana. En: *III International Congress on Biodiversity of the Guiana Shield*. Paramaribo, Suriname.
- Moges, A.; Dagnachew, M.; Yimer, F. (2013). Land Use Effects on Soil Quality Indicators: A Case Study of Abo-Wonsho Southern Ethiopia. *Applied and Environmental Soil Science*, Article ID 784989, 9 p.
- Mogollón, J.; Martínez, A.; Torres, D. (2016). Efecto de la aplicación de vermicompost en las propiedades biológicas de un suelo salino-sódico del semiárido venezolano. *Bioagro* 28(1): 29-38.
- Mogollón, J.; Martínez, A.; Rivas, W. (2014). Degradación química de suelos agrícolas en la Península de Paraguaná, Venezuela. *Suelos Ecuatoriales*. 44(1):22-28.
- Mogollón, J.P.; Rivas, W.; Alvizu, P.; Márquez, E.; Colmenares, M.; Lemus, L.; Hernández, S. Martínez, A. (2016). Calidad de la vegetación como indicador de desertificación en la Península de Paraguaná, Venezuela. *Ágora de Heterodoxia* 2:72-97.
- Mogollón, J.P.; Rivas, W.; Muñoz, B.; Martínez, A.; Márquez, E.; Arrieta, L.; Lemus, L.; Colmenares, M.; Campos, Y.; Hernández, S. (2015a). Calidad del suelo como indicador de desertificación en la Península de Paraguaná, estado Falcón, Venezuela. *Croizatía*. 16:7-24.
- Mogollón, J.P.; Rivas, W.; Martínez, A.; Campos, Y.; Márquez, E. (2015b). Carbono orgánico del suelo en un gradiente altitudinal en la Península de Paraguaná, Venezuela. *Multiciencias*. 15:271-280.

- Mogollón, J.P.; Martínez, A.; Rivas, W.; Maseda, C.; Muñoz, B.; Márquez, E.; Lemus, L.; Colmenares, M.; Campos, Y. (2015c). Carbono orgánico como indicador del proceso de Desertificación en suelos agrícolas al Norte de Venezuela. *Suelos Ecuatoriales*. 45:24-30.
- Mogollón, J.P.; Martínez, A. (2012). Cambios en el Carbono orgánico del suelo por efecto del tipo de uso de la tierra. En: *Memorias en extenso del XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo*. Mar de Plata, Argentina. Pp: 45-51.
- Mogollón, J.; Torres, D.; Martínez, A. (2010). Cambios en algunas propiedades biológicas del suelo según el uso de la tierra, en el sector El Cebollal, estado Falcón, Venezuela. *Bioagro*. 22(3):217-222.
- Mogollón, J. P.; Martínez, A. (2009). Variación de la Actividad Biológica del Suelo en un Transecto Longitudinal de la Sierra de San Luis, Estado Falcón. *Agronomía Tropical*. 59:469-479.
- Mogollón, J.P.; Tremont, O.; Rodríguez, N. (2001). Efecto del uso de un vermicompost sobre las propiedades biológicas y químicas de suelos degradados por sales. *Venesuelos*. 9:48-56.
- Molina, C. y M Salcedo. (2009). Capítulo 5. Aves del Parque Nacional Canaima. Pp 133 – 149. En: Senaris, J. C., D. Lew y C. Lasso (eds.). 2009. *Biodiversidad del Parque Nacional Canaima: bases técnicas para la conservación de la Guayana venezolana*. Fundación La Salle de Ciencias Naturales y The Nature Conservancy. Caracas.
- Mollejas, I.; Duran, G.; Herrera, J.; Pire, R.; Marcano, F.; Pérez, J. (1994). Diagnóstico del suelo, el agua del riego, y el estado nutricional de la cebolla (*Allium cepa* L) cultivada en la zona de Altagracia, Estado Lara, *Bioagro* 6 (2)-40-45.
- Monasterio, P.; Pierre, F.; Barreto, T.; Marín, C.; Mora, O.; Tablante, J.; Maturet, W.; Mendoza, C. (2011). Influencia del fenómeno El Niño/oscilación del sur sobre la precipitación y rendimiento del cultivo de maíz en el municipio Peña, estado Yaracuy, Venezuela. *Agronomía Tropical*. 61: 59-72.
- Monedero, C., & Gutiérrez, M. (2001). Análisis Cuantitativo de los patrones espaciales de la cobertura vegetal en el geosistema montañoso tropical El Ávila. *Ecotropicos*. 14 (1), 19-30.
- Mondolfi, E. (1997). Lista provisional anotada de los mamíferos de la cuenca del Río Caura, Venezuela. En: O. Huber y J. Rosales (eds). *Ecología de la cuenca del Río Caura, Venezuela*. Scientia Guaianae 7:11-63.
- Montaño, N.; Ayala, F.; Bullock, S.; Briones, O.; García, F.; García, R.; Troyo, E. (2016). Almacenes y flujos de carbono en ecosistemas áridos y semiáridos de México: Síntesis y perspectivas. *Revista Terra latinoamericana* 34(1):39-59.
- Montoya E, Rull V and Nogue S (2011a) Early human occupation and land use changes near the boundary of the Orinoco and the Amazon basins (SE Venezuela): Palynological evidence from El Pauji. *Record Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 310: 413–426.
- Montoya E, Rull V, Stansell N *et al.* (2011b) Forest-savanna morichal dynamics in relation to fire and human occupation in the southern Gran Sabana (SE Venezuela) during the last millennia. *Quaternary Research* 76: 335–344.
- Montoya E, Rull V, Stansell N *et al.* (2011c) Vegetation changes in the Neotropical Gran Sabana (Venezuela) around the *Younger Dryas* chron. *Journal of Quaternary Science* 26: 207–218.
- Morillo, A. L. (2008). *Análisis florístico y estructural de la vegetación de una selva nublada en un gradiente altitudinal, en la Mucuy, estado Mérida*. Mérida, Venezuela: Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias, Instituto de Ciencias Ambientales y Ecológicas. Ecología Tropical.
- Moritz, M. A., Enric Batllori, Ross A. Bradstock, A. Malcolm Gill, John Handmer, Paul F. Hessburg, Justin Leonard, Sarah McCaffrey, Dennis C. Odion, Tania Schoennagel & Alexandra D. Syphard. (2014). Learning to coexist with wildfire. *Nature* 515, 58–66.
- Nang, B. (2016). Impacts of anthropogenic activities on physical and selected chemical properties of soils in the natural forest savanna of Northern Ghana. *Journal of Soil Science and Environmental Management* 7(5):53-63.
- Nogué, S., Rull, V. & Vegas-Vilarrúbia, T. (2009). Modeling biodiversity loss by global warming in Pantepui, northern South America: projected upward migration and potential habitat loss. *Climatic Change* 94: 77-85.

- Olivares, B. (2016). *Caracterización de la sequía meteorológica en la Red de Estaciones Agrometeorológicas del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA) Venezuela*. Disertación doctoral Universidad Internacional de Andalucía.
- Oliveira-Miranda, M.; Huber, O.; Rodríguez, J.P.; Rojas-Suárez, F.; Oliveira-Miranda, R.; Hernández-Montilla, M.; Zambrano-Martínez, S. (2010). Riesgo de eliminación de los ecosistemas terrestres de Venezuela. Bosques Deciduos. En: Rodríguez, J.P.; Rojas-Suárez, F.; y Giraldo, D. (Eds). *Libro Rojo de los Ecosistemas Terrestres de Venezuela*. Provita, Shell Venezuela, Lenovo (Venezuela). Caracas: Venezuela. 324 pp.
- Olivo, M.; Soto, A. (2012). Impactos Potenciales de los Cambios Climáticos. *Universidad Ciencia y Tecnología*. 16:12-22.
- Olivo, M. (2009). *El potencial incremento del nivel del mar como un resultado del cambio climático global en Venezuela: caso Cabo Codera-Laguna de Tacarigua, estado Miranda*. Tesis Doctoral Universidad Central de Venezuela. Facultad de Humanidades y Educación. 165 p.
- Ovalles, F.; Cortez, A.; Rodríguez, M.; Rey, J.; Cabrera, E. (2007). Variación geográfica del impacto del cambio climático en el sector agrícola en Venezuela. En: *Memorias en CD-ROM del I Congreso Venezolano de Agrometeorología*. Maracay, Venezuela.
- Pacheco A., Aguado I. y Mollicone D. (2011a). Las causas de la deforestación en Venezuela: un estudio retrospectivo. *BioLlania* (Ed. Esp.) 10: 281-292.
- Pacheco A., Aguado I. y Mollicone D. (2011b). Dinámica de la deforestación en Venezuela: análisis de los cambios a partir de mapas históricos. *Interciencia* 36 (8): 578-586.
- Pacheco A., Aguado I. y Mollicone D. (2014). Identification and characterization of deforestation hotspots in Venezuela using MODIS satellite images. *Acta Amazonica* 44(2): 185-196.
- Padilla, M. (2012). *El año del hambre: La sequía y el desastre de 1912 en Paraguaná*. Gobernación del Estado Falcón. INCUDEF. Fundación Literaria León Bienvenido Weffer. Producciones Editoriales C.A. Mérida, Venezuela. 190 p.
- PAN. (2004). *Programa de Acción Nacional de Lucha contra la Desertificación y Mitigación de la Sequía de la República Bolivariana de Venezuela*. Dirección General de Cuencas Hidrográficas. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales (MARN). Fondo Editorial Fundambiente. 106 p.
- Pan, Y., R. A. Birdsey, J. Fang, R. Houghton, P. E. Kauppi, W. A. Kurz, O. L. Phillips, A. Shvidenko, S. L. Lewis, J. G. Canadell, P. Ciais, R. B. Jackson, S. W. Pacala, A. D. McGuire, S. Piao, A. Rautiainen, S. Sitch, D. Hayes. (2011). A Large and Persistent Carbon Sink in the World's Forests. *Science* 333: 988-993.
- Paredes, F. (2012). *Sistema para la alerta temprana de sequías meteorológicas en Venezuela*. Tesis Doctoral en Ingeniería Ambiental de la Universidad de Carabobo. Valencia, Venezuela. 174 p.
- Paredes, F.; Millano, J.; Guevara, E. (2008). Análisis espacial de las sequías meteorológicas en la región de Los Llanos de Venezuela durante el período 1961-1996. *Revista de Climatología*. 8:15-27.
- Pérez, J.; Schargel, R.; Gómez, J.; Ohep, C. (1995). *Estudio semidetallado de suelos a nivel de series del Valle de Quíbor*. Sistema Hidráulico Yacambú Quíbor (SHYQ). Barquisimeto. Venezuela.
- Pierre, F.; Betancourt, P. (2007). Residuos de plaguicidas organoclorados y organofosforados en el cultivo de cebolla en la depresión de Quíbor, Venezuela. *Bioagro* 19: 69-78
- PNUD. (2005). Nota conceptual aprobada. PROYECTO VEN/00045460. *Combate a la degradación de las tierras en las zonas áridas y semiáridas de los Estados Lara y Falcón, Venezuela*.
- PNUMA. (1991). *Status of desertification and implementation of the United Nations Plan of Action to combat desertification*. Nairobi. 79 p.
- Pomares, F.; Gómez, A.; Baixauli, C.; Albiach, R. (2003). Producción y balances de materias orgánicas y nutrientes en dos rotaciones de hortalizas sometidas a fertilización mineral, orgánica y órgano-mineral. *Actas 1º Congreso Iberoamericano de Nutrición Vegetal. AgroLatino Fertilización, Rentabilidad y Medio ambiente*. 134-137pp.
- POTEF. (2004). *Plan de Ordenación del territorio del estado Falcón*. Gobernación del estado Falcón. Informe Técnico. 105 p.
- Pulido, M.; Lobo, D.; Lozano, Z. (2009). Asociación entre indicadores de estabilidad estructural y la materia orgánica en suelos agrícolas de Venezuela. *Agrociencia*, 43(3): 221-230.

- Qiu, Y.; Fu, B.; Wang, J.; Chen, L. (2001). Soil moisture variation in relation to topography and land use in a hillslope catchment of the Loess Plateau, China. *J Hydrol* ;240: 243–263.
- Quiñónez, E.; Dal Pozzo, F. (2008). Distribución espacial del riesgo de degradación de los suelos por erosión hídrica en el Estado Lara, Venezuela. *Geoenseñanza* 13(1): 59-70.
- Ramos, B. & J. Blanco. (1997). Los Suelos del Medio Río Caura, Sector Río Chanaro-Río Marik, Estado Bolívar, Venezuela. En: *Ecología de la Cuenca del Río Caura, Venezuela II*. (O. Huber & N. Dezzeo, Eds.), pp. 345-364. Scientia Guaianae N° 7. Caracas.
- Ramírez, N; Dezzeo, N and N, Chacón. (2007). Floristic composition, plant species abundance, and soil properties of montane savannas in the Gran Sabana, Venezuela. *Flora* 202, 316-327.
- Randerson, J. T., Chen, Y., van der Werf, G. R., Rogers, B. M. & Morton, D. C. (2012). Global burned area and biomass burning emissions from small fires. *Journal of Geophysical Research* 117, G04012.
- Reyes, W. (2014). Procesos de compactación en un suelo vertisol bajo cuatro condiciones de manejo en la Llanura de Coro, estado Falcón, Venezuela. *Bioagro* 26 (1):39-48.
- Rivas W.; Mogollón, J.P. (2015a). Calidad de gestión como un indicador de desertificación en la Península de Paraguaná, estado Falcón, Venezuela. *Croizatía*. 16:37-50.
- Rivas, W.; Mogollón, J.P. (2015b). Calidad de clima como un indicador de desertificación en la Península de Paraguaná, estado Falcón, Venezuela. *Croizatía*. 16:25-35.
- Rivera-Lombardi, R.J., Setzer, A., Krug, T. (2011). Estimativa de emissões de gases de efeito estufa resultantes da queima de biomassa na Amazônia brasileira em 2005 a partir de dados MODIS/AQUA. *Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR*, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE.
- Roa, P. (1979). Estudio de los médanos de los llanos centrales de Venezuela: evidencias de un clima desértico. *Acta Biológica Venezuelana* 10(1): 19-49.
- Rodríguez I. (2004). Conocimiento indígena vs. científico: el conflicto por el uso del fuego en el Parque Nacional Canaima, Venezuela. *Interciencia* 29: 121-129.
- Rodríguez, I. (2007). Pemón Perspectives of Fire Management in Canaima National Park, Southeastern Venezuela. *Human Ecology* 35: 331–343
- Rodríguez, J.P.; Rojas-Suárez, F.; Giraldo-Hernández, D. (eds.) (2010). *Libro Rojo de los Ecosistemas Terrestres de Venezuela*. Provita, Shell Venezuela, Lenovo (Venezuela). Caracas: Venezuela. 324 p.
- Rodríguez, O. (1991). Minerales y arcillas de los suelos del estado Lara II. Difractometría de rayo X. *Bioagro* 8 (3):91-96.
- Rodríguez, N., Torres, D.; Yéndis, H.; Florentino, A.; Zamora, F. (2009). Selección de indicadores de calidad de suelo en tres tipos de uso de la tierra en la planicie de Coro estado Falcón. *Revista Facultad de Agronomía (LUZ)*. 26(3):340-361.
- Rollán, A.; Bachmeier, O. (2014). Compactación y retención hídrica en Haplustoles de la provincia de Córdoba (Argentina) bajo siembra directa. *Agriscientia* 31: 1-10.
- Rivas, W.; Mogollón, J.P.; Muñoz, B.; Márquez, E.; Martínez, A.; Lemus, L.; Colmenares, M.; Campos, Y.; Hernández, S. (2015). Caracterización de la sequía agrícola en el área de producción de cultivos de la Península de Paraguaná período 1971 - 2000, estado Falcón, Venezuela. *Croizatía*. 16:75-84.
- Roman-Cuesta R.M., M. C. Rufino, M. Herold, K. Butterbach-Bahl, T. S. Rosenstock, M. Herrero, S. Ogle, C. Li8, B. Poulter, L. Verchot, C. Martius, J. Stuiver y S. de Bruin. (2016). Hotspots of gross emissions from the land use sector: patterns, uncertainties, and leading emission sources for the period 2000–2005 in the tropics. *Biogeosciences* 13: 1–17.
- Rödder, D., Schlüter, A. & Lötters, S. (2010). Is the 'LostWorld' lost? High endemism of amphibians and reptiles on South American tepuis in a changing climate. In: *Relict Species: Phylogeography and Conservation Biology*, eds. J.C. Habel & T. Assmann (Berlin: Springer), 401-416.
- Rull, V. (1991). Contribución a la Paleoecología de Pantepui y la Gran Sabana (Guayana Venezolana): Clima, Biogeografía y Ecología. *Scientia Guaianae*, N°2. 133 p.
- Rull V (1999) A palynological record of a secondary succession after fire in the Gran Sabana, Venezuela. *Journal of Quaternary Science* 14: 137–152.

- Rull, V. & Vegas-Vilarrúbia, T. (2006). Unexpected biodiversity loss under global warming in the neotropical Guayana Highlands: a preliminary appraisal. *Global Change Biology* 12: 1-9.
- Rull V (2007) Holocene global warming and the origin of Neotropical Gran Sabana in the Venezuelan Guayana. *Journal of Biogeography* 34: 279–288.
- Rull, V., Vegas-Vilarrúbia, T., Nogué, S. & Huber, O. (2009). Conservation of the neotropical vascular flora from the neotropical Guayana Highlands in the face global warming. *Conservation Biology* 23: 1323-1327.
- Rull, V. & Vegas-Vilarrúbia, T. (2017). Potential Responses of Vascular Plants from the pristine “Lost World” of the Neotropical Guayana Highlands to global warming: review and new perspectives. *Frontiers in Plant Science* 8: 81.
- Rull, V., Vegas-Vilarrúbia, T. & Nogué, S. (2005). *Cambio climático y diversidad de la flora vascular en las montañas tabulares de Guayana*. ORSIS, 20: 61-71.
- Sá, J.; Cerri, C.; Dick, W.A.; Lal, R.; Filho, S.; Piccolo, M.; Feigl, B. (2001). Organic matter dynamics and carbon sequestration rates for a tillage chronosequence in a Brazilian oxisol. *Soil Science Society of America Journal* 65:1486–1499.
- Safont, E., Rull, V., Vegas-Vilarrúbia, T. & Nogué, S. (2011). Global warming and plant extinction: a tropical example. *L’Atzavara* 20: 29-42.
- Safont, E., Vegas-Vilarrúbia, T. & Rull, V. (2012). Use of Environmental Impact Assessment (EIA) tools to set priorities and optimize strategies in biodiversity conservation. *Biological Conservation* 149: 113-121.
- Safont, E., V. Rull, T. Vegas-Vilarrúbia, B. Holst, O. Huber, S. Nozawa, Y. Vivas & A. Silva. (2014). Establishing a baseline of plant diversity and endemism on a neotropical mountain summit for future comparative studies assessing upward migration: an approach from biogeography and nature conservation. *Systematics and Biodiversity* 12(3): 292-314.
- Safont, E., T. Vegas-Vilarrúbia, V. Rull, B. Holst, O. Huber, S. Nozawa, Y. Vivas, X. Font & A. Silva. (2016). Plant communities and environmental factors in the Guayana Highlands: monitoring for conservation under future climate change. *Systematics and Biodiversity*: 1-18.
- Sánchez F., Fernandez J., Gassón R., Bezada M. y Leal A. (En prensa). Paleoeología y ocupación humana durante el Holoceno en los Llanos del Orinoco: una revisión y nuevos datos. *BioLlania* (Ed. Esp) 15.
- Sánchez, B.; Ruiz, M.; Ríos, M. (2005). Materia Orgánica y Actividad Biológica en suelo en relación a la altitud, en la Cuenca del río Maracay, estado Aragua. *Agronomía Tropical*. 55:507-534.
- Sandoval, L.; Camargo, S.; Montañó, N.; García, F.; Alarcón, A.; Montañó, S.; Esperón M. (2016). Biocrusts, inside and outside resource islands of Mimosa luisana (Leguminosae), improve soil carbon and nitrogen dynamics in a tropical semiarid ecosystem. *European Journal of Soil Biology* 74:93-103
- San José, JJ; Montes RA.; Thielen, DR. (2009). *Effects of land use and precipitation changes on carbon stock in a basin of the Orinoco lowlands: 1938-1997*. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 6: 342041. DOI: 10.1088/1755-1307/6/4/342041.
- San José JJ, Montes R., Mazorra M., Aguirre E. y Matute N. (2010). Response of land/inland water palm ecotone (morichal) to anthropogenic disturbance in the Orinoco lowlands. *Folia Geobotanica* 47: 153-178.
- San José, JJ; Montes, RA; Buendía, C; Thielen, DR; Mazorra, MA. (2012). Response of land / inland water palm ecotone (Morichal) to anthropogenic disturbance in the Orinoco lowlands. *Folia Geobotanica*, 47:153–178.
- San José, J.; Montes, R. (2001). Evaluación de los efectos del uso de la tierra sobre el contenido y flujos de carbono en los llanos del Orinoco. En: *Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la Captura de Carbono en Ecosistemas Forestales*. Valdivia, Chile. Pp:1-8. Recuperado de: http://www.uach.cl/procarbono/pdf/simposio_carbono/01_SanJose.PDF.
- Sarmiento, G. (1983). Patterns of specific and phenological diversity in the grass community of the Venezuelan tropical savannas. *Journal of Biogeography* 10:373-391.

- Schargel, R. (2015). Suelos llaneros: geomorfología, distribución geográfica y caracterización. Pp 63-149. En: *Tierras Llaneras de Venezuela*, R. López-Falcón, J. M. Hétier, D. López-H., R. Schargel & A. Zinck. (eds.). IRD-CIDIAT, Mérida, Venezuela.
- Schimel, D.; Braswell, B.; Holland, E.; McKeown, R.; Ojima, D.; Painter, T.; Parton, W.; Townsend, A. (1994). Climatic, edaphic, and biotic controls over storage and turnover of carbon in soils. *Glob. Biogeochemical Cycles*. 8: 279-293.
- Schultz MG, Heil A, Hoelzemann JJ, et al. (2008). Global wildland fire emissions from 1960 to 2000. *Global Biogeochemical Cycles* 22, GB2002.
- Señaris, J. C., D. Lew y C. Lasso (eds.). (2009). *Biodiversidad del Parque Nacional Canaima: bases técnicas para la conservación de la Guayana venezolana*. Fundación La Salle de Ciencias Naturales y TheNatureConservancy. Caracas. 256 pp. Recuperado de: <http://fundacionlasalle.org.ve/userfiles/Biodiversidad%20del%20Parque%20Nacional%20Canaima.pdf>
- Señaris, J. C., G. Rivas y C. Molina. (2009). Capítulo 4. Anfibios y reptiles del Parque Nacional Canaima. Pp 103 - 129. En: Señaris, J. C., D. Lew y C. Lasso (eds.). 2009. *Biodiversidad del Parque Nacional Canaima: bases técnicas para la conservación de la Guayana venezolana*. Fundación La Salle de Ciencias Naturales y The Nature Conservancy. Caracas.
- SHYQ-UCLA. (2006). *Estudio semidetallado de suelos a nivel de series del sector norte de la zona de aprovechamiento agrícola del Valle de Quíbor. Sistema Hidráulico Yacambú Quíbor*. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado Barquisimeto. Venezuela. 80p.
- Sjögersten, S., C. R. Black, S. Evers, J. Hoyos-Santillan, E. L. Wright, and B. L. Turner (2014), Tropical wetlands: A missing link in the global carbon cycle? *Global Biogeochemical Cycles*, 28, 1371–1386, doi:10.1002/2014GB004844.
- Smith, L. K., and W. M. Lewis (1992), *Methane emissions from the Orinoco River floodplain, Venezuela*. ASLO 92, Aquatic Science Meeting, Santa Fe, NM, February 9–14.
- Smith, L. K., W. M. Lewis, J. P. Chanton, G. Cronin, and S. K. Hamilton (2000), Methane emissions from the Orinoco River floodplain, Venezuela, *Biogeochemistry*, 51, 113–140.
- Solomon, D.; Lehmann, J.; Zech, W. (2000). Land use effects on soil organic matter properties of chromic luvisols in semiarid northern Tanzania: carbon, nitrogen, lignin and carbohydrates. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 78:203–213.
- Soriano, P.J.; Ruiz, A. (2003). Arbustales Xerófilos. En: M. Aguilera, A. Azócar & E. González Jiménez (eds.). *Biodiversidad de Venezuela. Tomo II*. Fundación Polar, Ministerio de Ciencia y Tecnología, Fondo Nacional para la Ciencia, Tecnología e Innovación (FONACIT). Pp. 696-715. Editorial ExLibris: Caracas.
- Steyermark J., Berry P y Holst B (eds.). (1995). *Flora of the Venezuelan Guayana*. Missouri Botanical Garden Press, St. Louis, Missouri, USA, 319 p.
- Steyermark J. y Huber O. (1978). *Flora del Ávila*. INCAFO, Madrid, España, 971 p.
- Swift, M. J.; Seward, P.; Frost, P.; Qureshi, J.; Muchena, F. (1994). Long-term experiments in Africa: developing a database for sustainable land use under global change. En R.A. Leigh y Johnston A.E., eds. *Long-term experiments in agricultural and ecological sciences*, Pp. 229–251. Wallingford, R.U., CAB International.
- Teshome, A.; De Graaff, J.; Menale K. (2016). Household-Level Determinants of Soil and Water Conservation Adoption Phases: Evidence from North-Western Ethiopian Highlands. *Environmental Management* 57:620-636
- Thielen, D.R.; San José, JJ; Montes, RA; Lairer, R. (2007). Application of fractal analysis to assess land use changes on woody cover and landscape fragmentation in the Orinoco savannas. En: IEEE International. Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2007:5065-5067. DOI: 10.1109/IGARSS.2007.4424000.
- Thielen, D.R.; San José, JJ; Montes, RA; Lairer, R. (2008). Assessment of land use changes on woody cover and landscape fragmentation in the Orinoco savannas using fractal distributions. *Ecological Indicators*, 8:224-238.
- Thielen, D.R. (2004). *Tendencia de la precipitación y la dinámica espacial y temporal de las leñosas en una sabana neotropical*. Tesis de Doctorado. Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela. 237p.

- Thielen D.R. (2014). Determinantes de las sabanas neotropicales: una revisión del conocimiento más relevante. *Hippocampus* 4: 31-40.
- Toledo, V. (2013). Cuantificación de la erosión regresiva en cabeceras y pérdida de suelo en cárcavas en el sector de Susucal, estado Lara Venezuela. *Revista de investigación* 80 (37): 117-138.
- Torres, D.; Rodríguez, N.; Yendis, H.; Florentino, A.; Zamora, F. (2006). Cambios en algunas propiedades químicas del suelo según el uso de la tierra en el sector el Cebollal, Estado Falcón, Venezuela. *Bioagro* 18 (2): 123-128.
- Torres, D.; Rivero, D.; Guevara, N.; Yendis, H.; Lobo, D.; Gabriels, D.; Zamora, F. (2008). Efectos de un acondicionador sintético (Terracottem®) y un acondicionador orgánico (Bocaschi) sobre la eficiencia del uso de agua en el cultivo del pimentón. *Agronomía Tropical*, 58(3), 277-287.
- Torres, D.; Aparicio, M.; López, M.; Contreras, J.; Acevedo, I. (2009). Impacto del tipo de uso de la tierra sobre propiedades del suelo en la depresión de Quíbor. *Agronomía Tropical* 59(2): 207-217.
- Torres, D.; Florentino, A.; Ospina, A.; Marco, L.; Colmenares, C.; Yendis, H. (2014). Concentración de clorofila y disponibilidad de nutrientes en suelos con presencia de costra biológica de suelo (CBS). *Suelos Ecuatoriales* 44(2):90-95.
- Torres, D.; Álvarez.; Contreras, J.; Henríquez, M.; Hernández, W.; Lorbes, J.; Mogollón, J. (2017). Identificación de potencialidades y limitaciones de suelos agrícolas del estado Lara, Venezuela. *Bioagro* 29 (3):207-218.
- Torres, D.; Rodríguez, N.; Yendis, H.; Florentino, A.; Zamora, F. (2006). Cambios en algunas propiedades químicas del suelo según el uso de la tierra en el sector el Cebollal, Estado Falcón, Venezuela. *Bioagro*. 18:123-128.
- Trumper, K.; Ravilious, C.; Dickson, B. (2008). *Carbon in Drylands: Desertification, Climate Change and Carbon Finance*. A UNEP-UNDPUNCCD Technical Note. Istanbul, Turkey. Recuperado de: <http://www.unep.org/pdf/carbondrylands-technical-note.pdf>.
- Urbani, F. (2011.). Fajas, Terrenos y Napas de la Cordillera de la Costa, Venezuela Norcentral. III Simposio Venezolano de Geociencias de rocas ígneas y metamórficas. *Geos* 41.
- Valiente, O. (2001). Sequía: definiciones, tipologías y métodos de cuantificación. *Investigaciones Geográficas* 26: 59-80.
- van der Werf, G. R.; J. T. Randerson, L. Giglio G. J. Collatz, M. Mu, P. S. Kasibhatla, D. C. Morton, R. S. DeFries, Y. Jin, T. T. van Leeuwen. (2010). Global fire emissions and the contribution of deforestation, savanna, forest, agricultural, and peat fires (1997–2009). *Atmospheric Chemistry and Physics*, 10, 11707–11735.
- Vaz, J. y J. García-Miragaya. (1992). Thermoluminescence dating and chemistry of Quaternary sodic alluvial soils in the Venezuelan savanna. *Catena* 19: 209-220.
- Vaz, J. y J. García-Miragaya. (1989). Thermoluminescence dating of fossil sand dunes in Apure, Venezuela. *Acta Científica Venezolana*, 40 (1): 81-82.
- Vegas-Vilarrúbia, T., Nogué, S. & Rull, V. (2012). Global warming, habitat shifts and potential refugia for biodiversity conservation in the neotropical Guayana Highlands. *Biological Conservation Journal* 152: 159-168.
- Vegas-Vilarrúbia, T., Hernández, E., Rull, V. & Rull-Vegas, E. (2015). The Orinoco megadelta as a conservation target in the face of the ongoing and future sea level rise. *Science of the Total Environment Journal* 515-516: 129-142.
- Vegas-Vilarrúbia, T. & Rull, V. (2016). Undervalued impacts of sea-level rise: vanishing Deltas. *Frontiers in Ecology and Evolution* 4: 77.
- Vera, A., Martínez, M. (2014). Rasgos ecológicos de un arbustal xerófilo perturbado del municipio Miranda, estado Zulia, Venezuela. *Revista Facultad de Agronomía(LUZ)*. Supl. 1: 349-364.
- Wang, S.; Liu, J.; Yu, G.; Pan, Y.; Chen, Q.; Li, K.; Li, J. (2004). Effects of land use change on the storage of soil organic carbon: A case study of the Qianyanzhou forest experimental station in China. *Climatic Change*. 67:247-255.
- Wang, Y.; Shao, M. (2013). Spatial variability of soil physical properties in a region of the loess plateau of PR China subject to wind and water erosion. *Land Degradation. Development*, 24: 296–304.

White A B L (2017). Satellite Detection of Wildland Fire in South America. En: *Proceedings of the 2nd World Congress on Civil, Structural, and Environmental Engineering (CSEE'17)*. Barcelona DOI: 10.11159/icesdp17.111 ICESDP 111-1

Wille, M., H. Hooghiemstra, B. Van Geel, H. Behling, A. Jong & K. van der Borg. (2003). Submillenium-scale migrations of the rainforest-savanna boundary in Colombia: 14C wiggle-matching and pollen analysis of core Las Margaritas. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 193: 201-223.

Yang, R.; Su, Y.; Wang, M.; Wang, T.; Yang, X.; Fan, G.; Wu, T. (2014). Spatial pattern of soil organic carbon in desert grasslands of the diluvial-alluvial plains of northern Qilian Mountains. *Journal of Arid Land*. 6: 136-144.

Zager I. y Carrasquel F. (2010). Conversión de bosques en la Reserva Forestal de Sipapo, Estado Amazonas. En: Rodríguez, J.P.; Rojas-Suaréz, F.; y Giraldo, D. (eds). *Libro Rojo de los Ecosistemas Terrestres de Venezuela*. Provita, Shell Venezuela, Lenovo (Venezuela). Caracas: Venezuela. 324 pp.



I.5 ECOSISTEMAS MARINO-COSTEROS

Coordinador líder
Aldo Cróquer

Autor líder
Estrella Villamizar

Autores contribuyentes
María Beatriz Barreto, Sandra Giner, Hedelvy Guada, Rubén Torres, Anaurora Yranzo

Palabras clave: ecosistemas marino-costeros, arrecifes de coral, tortugas marinas, manglares, América del Sur, Venezuela.



Figura I.5.1 Afloramiento arrecifal Refugio de Fauna Silvestre Cuare Edo Falcón, Venezuela, 2013. Fotografía Alicia Villamizar.

Acrónimos

CARICOMP	Caribbean Coastal Marine Productivity
ENSO	El Niño Southern Oscillation / EL Niño Oscilación del Sur
PSU	Practical Salinity Unit (por sus siglas en inglés).
UICN	Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza

I.5.1 Introducción

La ubicación geográfica de Venezuela es privilegiada, ya que, la posición que ocupa, en el extremo más septentrional de América del Sur, le provee, entre otras ventajas, acceso directo a dos cuencas oceánicas, el Mar Caribe al norte y el Océano Atlántico al este. El sistema marino-costero de Venezuela tiene una longitud total de 3964 Km. de los cuales, 814 km constituyen la línea costera del Atlántico Occidental y 2678 km la del Caribe, además de poseer 472 km de línea de costa insular. A lo largo de toda la costa se localizan, de forma interrumpida, una serie de ecosistemas marino-costeros entre los que se encuentran estuarios, lagunas costeras, praderas de hierbas marinas (pastos marinos), plataformas rocosas, acantilados rocosos, comunidades coralinas marginales, mosaicos coralinos (parches) y arrecifes coralinos, litorales arenosos y bosques de manglar. La extensión de la línea costera y la diversidad de ambientes presentes en la misma, ofrecen un gran número y variedad de hábitats disponibles para la flora y fauna marina. Miloslavich *et al.* (2011) señalan que Venezuela es uno de los diez países mega diversos, que alberga una amplia variedad de ecosistemas marinos costeros de la región del Caribe. Por otra parte, todos estos ecosistemas son altamente vulnerables al cambio climático, tal y como lo indican Marrero y Rodríguez-Olarte (2017), quienes atribuyen esta vulnerabilidad, principalmente a la alteración de la frecuencia e intensidad de eventos como tormentas y la variación en el nivel del mar. Por su parte, Turra *et al.* (2013) argumentan que múltiples impactos de origen humano tienen el potencial real de poner en riesgo a los hábitats costeros en América Latina. De hecho, ya se han registrado cambios importantes en la composición y distribución de muchos de estos hábitats (Martins *et al.*, 2012), especialmente en el este del Caribe y en gran parte de todo el continente americano (Halpern *et al.*, 2008).

Entre los principales problemas relacionados indirectamente con el cambio climático, de los cuales se tienen evidencias, están: el incremento sostenido de la temperatura de los océanos, la acidificación de los océanos y el incremento en la frecuencia de los eventos extremos (IPCC, 2013). El aumento de la temperatura de los océanos repercute negativamente en ecosistemas mega-diversos como los arrecifes de coral, principalmente debido al blanqueamiento y las enfermedades en corales (Wilkinson & Souther, 2008), además de producir cambios en la estructura y función de las macroalgas y de los bosques de laminariáceas o *kelp forests* (Wernberg *et al.*, 2010, 2011), e incrementar la probabilidad de ocurrencia de explosiones poblacionales de algas tóxicas (Turra *et al.*, 2013). La acidificación no sólo está afectando a los campos de rodolitos a lo largo de la costa de Brasil (Amado-Filho *et al.*, 2012) sino también a la calcificación de organismos calcificadores como gasterópodos, ostras y mejillones, con las consecuentes repercusiones potenciales sobre las actividades de acuicultura y seguridad alimentaria (Turra *et al.*, 2013). El incremento en la frecuencia de eventos extremos como ciclones (Emanuel, 2005), impacta los hábitats costeros, particularmente las costas del Atlántico

suroriental. Adicionalmente, el rápido incremento en el nivel del mar puede tener impactos sobre los intervalos de distribución latitudinal de los ecosistemas marinos y costeros, la biodiversidad asociada y las sociedades humanas que dependen directa o indirectamente de ellos (Harley *et al.*, 2006). Debido a la creciente preocupación sobre los posibles efectos del cambio climático en los ecosistemas marinos y costeros de la región, esta revisión tiene por objeto identificar las investigaciones que muestren evidencias del mismo y detectar las brechas de información que es necesario atender, para lograr un mejor entendimiento del impacto del cambio climático sobre los sistemas marino-costeros del país.

I.5.2 Revisión bibliográfica y consulta a expertos: búsqueda de evidencias

Se realizó una revisión utilizando las bases de datos electrónicas *Google Scholar* (GS), *WSN* (*Web science of knowledge*) *Pub Med* (PM), *Scopus* (SCP) y buscadores en las bibliotecas de las universidades de Venezuela. Se incluyeron trabajos publicados en revistas arbitradas, tesis, resúmenes y presentaciones en congresos nacionales e internacionales, trabajos de grado e informes técnicos desde el año 2000 hasta el presente. La búsqueda se condujo utilizando las palabras claves generales (e.g. cambio climático, ecosistemas marinos, Venezuela) o específicas, en las que se resalta el efecto buscado y/o el ecosistema investigado (e.g., nivel del mar, calentamiento, temperatura agua, pH, acidificación, arrecifes de coral, playas, arenosas, rocosas, macroalgas, fitoplancton, zooplancton, foraminífera, rodolitos, sumideros de carbono costeros, manglares, herbazales costeros, hiposalinidad, etc.) en inglés y español. El otro método de búsqueda incluyó la evaluación del objetivo explícito; sin embargo, no se realizó ninguna evaluación sobre la pertinencia del diseño experimental para llegar a las conclusiones presentadas en cada trabajo. No se incluyeron en la revisión: documentales, entrevistas, blogs, páginas electrónicas personales, ni de organizaciones gubernamentales y no gubernamentales. La otra metodología utilizada fue la consulta directa a algunos científicos venezolanos expertos en las distintas comunidades marinas y su flora y fauna respectivas, quienes realizaron la revisión sobre sus temas.

I.5.3 Resultados

Se encontraron un total de 30 trabajos en los que se evaluó explícitamente los efectos del cambio climático sobre ecosistemas marinos-costeros de Venezuela para un período particular. Del total de estudios encontrados, en el 48% se afirma que el cambio climático tiene algún efecto sobre los ecosistemas marinos-costeros evaluados y/o las comunidades biológicas asociadas. En el resto de los estudios, se supone que el cambio climático tiene efectos porque se registraron cambios físicos-químicos o biológicos en los sistemas investigados. Estos cambios se atribuyeron al cambio climático bien sea arbitrariamente y/o basándose en referencias, pero no en conclusiones derivadas de la

1.5 utilización de herramientas de diseño experimental que permitirían separar diversos factores (independientes del cambio climático) capaces de impulsar cambios en el ambiente físico y el componente biológico asociado. En otros trabajos revisados, no se llegó a concluir que el cambio climático tiene efectos sobre los ecosistemas marinos-costeros, o comunidades evaluadas, pero se reconoce que las herramientas metodológicas empleadas sirven para establecer relaciones causa-efecto entre los cambios en los sistemas biológicos y las anomalías climáticas.

Con respecto a los objetivos de los trabajos, en la mayoría de los casos se estudiaron los efectos del calentamiento del océano, de eventos extremos y del cambio del nivel del mar sobre los sistemas marinos, dejando por fuera, otra gama de eventos que pueden ser resultado de cambios en el sistema climático (e.g. acidificación del océano). La ausencia de evidencias contundentes puede estar relacionada con vacíos de información en el monitoreo a largo plazo de los sistemas marinos y costeros en Venezuela, aunque existen algunas excepciones, tales como el programa *Caribbean Coastal Marine Productivity* (CARICOMP) (Bone *et al.*, 2001) y los programas de investigación de la fosa de Cariaco (Serie de tiempo oceanográfica Cariaco); ambos estudios están focalizados en áreas muy particulares, que no cubren la totalidad del territorio marino-costero de Venezuela, ni la diversidad de sistemas marinos y costeros que se pueden encontrar en la línea costera y el territorio oceánico nacional.

I.5.4 Casos especiales: Eventos climáticos recientes con mayor impacto en los sistemas marino-costeros de Venezuela.

La mayor parte de los estudios se concentraron en la Fosa de Cariaco, en ecosistemas marinos ubicados principalmente en zonas pelágicas, mientras que los trabajos que muestran algún efecto sobre comunidades marino-costeras que pueden ser atribuidos directamente a cambio climático de manera rigurosa, son más limitados. A continuación, se presentan varios ejemplos concretos.

I.5.4.1 Impacto del calentamiento global sobre los arrecifes coralinos

La literatura muestra que el calentamiento del océano ha impactado históricamente uno de los ecosistemas marinos más relevantes de Venezuela, en términos de la biodiversidad que alberga y los bienes y servicios que ofrece: estos son los arrecifes de coral. En Venezuela la distribución de estos sistemas es restringida. La mayor parte de los arrecifes continentales se encuentran localizados en el estado Falcón (Parque Nacional Morrocoy), los estados Carabobo (Parque Nacional San Esteban, y Aragua (Ciénaga de Ocumare y algunas bahías como Yapascua). Existen además comunidades coralinas dispersas (marginales) a lo largo de la costa central y occidental de Venezuela (e.g. Chichiriviche de la costa, península de Paraguaná), en los estados Nueva Esparta (Isla de Coche y Cubagua), Anzoátegui (Parque Nacional Mochima) y Sucre (Península de Paria). Por otra parte, existen

mayores desarrollos arrecifales en las islas que constituyen el Territorio Insular Francisco de Miranda (Archipiélago de las Aves, Archipiélago de Los Roques y La Orchila), así como en la isla La Tortuga.

Se conoce que el blanqueamiento coralino (disrupción de la simbiosis zooxantela-coral) es generalmente desencadenado por el calentamiento anómalo de las masas de agua; y sus efectos sobre los principales constructores de arrecifes (corales pétreos) se encuentran bien documentados (Hoegh-Guldberg, 1999; Hoegh-Guldberg & Bruno, 2010). En las [figuras I.5.2 y I.5.3](#) se muestran panorámicas de arrecifes sin blanqueamiento y con blanqueamiento y en la [figura I.5.4](#) a colonias de la especie *Meandrina meandrites* en condición normal y blanqueada. Las consecuencias de este fenómeno, que han sido relacionadas con el cambio climático (e.g. frecuencia e intensidad de anomalías térmicas ocasionada por El Niño y la Niña) van desde el incremento de la vulnerabilidad y susceptibilidad a infecciones y enfermedades coralinas (Weil, 2004) y compromiso del éxito reproductivo (Szmant, 1990), hasta la muerte del coral, cuando la anomalía y la condición de estrés es prolongada (Lesser *et al.*, 2007). Las consecuencias del blanqueamiento a escala global son claras, i.e., el deterioro sostenido, pérdida de salud y de áreas coralinas de alto valor económico y ecológico a escala global (Bellwood *et al.*, 2006; Hughes *et al.*, 2010).



[Figura I.5.2](#) Arrecife de Madrisquí en el Parque Nacional Archipiélago Los Roques (PNALR), Venezuela. Fotografía Anaurora Yranzo.

El primer caso de pérdida de cobertura coralina que fue asociada a una anomalía oceanográfica y quizás climática, fue la mortalidad masiva de los arrecifes del Parque Nacional Morrocoy en 1996

I.5 (Laboy-Nieves *et al.*, 1996; Villamizar, 2000). Laboy-Nieves *et al.* (1996), asociaron la mortandad masiva de estos arrecifes a un evento de enfriamiento anómalo de las masas de agua, posiblemente asociado a la surgencia costera combinado con un período de debilitamiento del viento y el descenso de la salinidad, que se combinaron para producir *blooms* de plancton, y una reducción concomitante de los niveles de oxígeno, que terminó sofocando a los organismos bentónicos como los corales. Sin embargo, esta hipótesis no ha sido muy aceptada, aunque no existen datos publicados que sustenten hipótesis alternativas. Previamente a este evento, entre los meses de julio y noviembre de 1995, la temperatura de las aguas alcanzó valores muy elevados y se vieron afectadas algunas especies de corales, evidenciando un proceso de blanqueamiento (Villamizar, obs. pers), que probablemente debilitó fisiológicamente a las colonias coralinas y las hizo más vulnerables a la anomalía oceanográfica antes mencionada, que le siguió en enero de 1996.

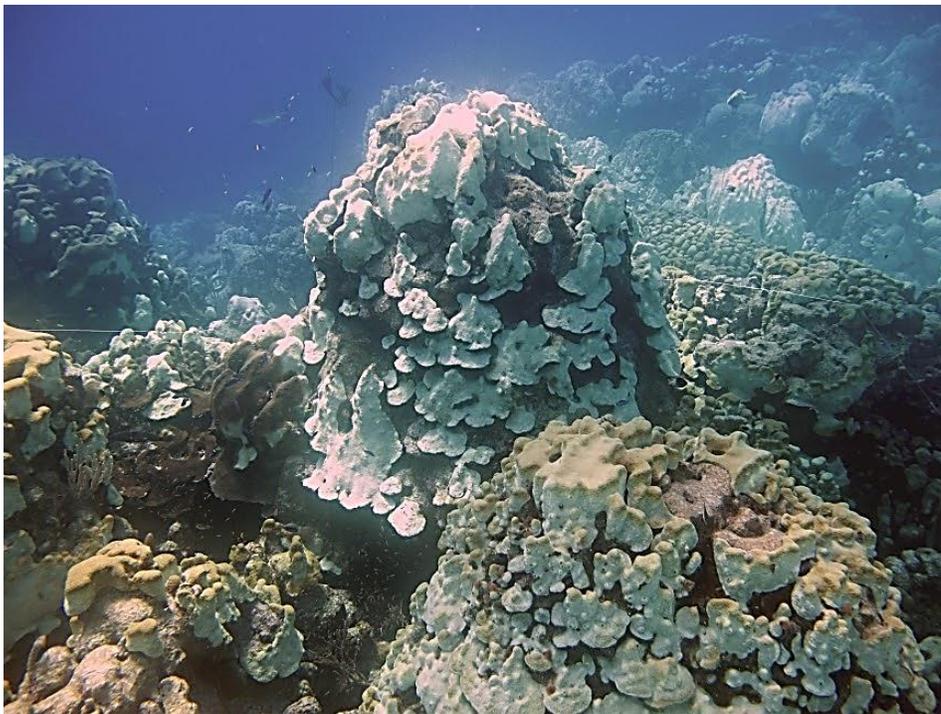


Figura I.5.3 Arrecife del Archipiélago Los Roques, Venezuela, afectado por blanqueamiento masivo en el año 2010. Fotografía Aldo Cróquer.

Durante las últimas dos décadas, se han registrado en el país dos eventos de blanqueamiento coralino masivo: el evento de 2005 y el evento de 2010. A finales de las décadas de los 80 y 90, también ocurrieron eventos similares (Lang *et al.*, 1992), pero con efectos menos severos. Las consecuencias de los eventos de blanqueamiento del 2005 y del 2010 fueron variables, dependiendo de la localidad. Por ejemplo, en el 2005, gran parte de los arrecifes coralinos del Parque Nacional Morrocoy y de Los Roques se blanquearon, pero se recuperaron eventualmente, sin que el período de estrés terminara en mortalidades masivas (Villamizar *et al.*, 2008; Villamizar *et al.*, 2014).

Lo mismo ocurrió en gran parte de los arrecifes coralinos y comunidades coralinas del oriente de Venezuela (Rodríguez *et al.*, 2010). Sin embargo, en el 2010, el evento de blanqueamiento produjo una elevada mortalidad coralina en algunos arrecifes de Venezuela, entre estos los del Parque Nacional San Esteban (Del Mónaco *et al.*, 2012), y del Parque Nacional Archipiélago Los Roques, este último sin precedentes, reduciendo la cobertura viva en 40-45% en algunos arrecifes del parque (Bastidas *et al.*, 2010). Los efectos a largo plazo de esta mortandad en los arrecifes de Los Roques no han sido determinados; no obstante, inspecciones recientes muestran que la gran mayoría de estos arrecifes fueron afectados (Cróquer *et al.*, datos inéditos). Los efectos negativos de los eventos de blanqueamiento del 2005 y del 2010 fueron registrados a lo largo de todo el Caribe y ambos años fueron reconocidos por la NOAA como los más calientes en las últimas décadas a escala regional (Cróquer *et al.*, 2009; Brand & McManus, 2009; Eakin *et al.*, 2010). Rodríguez *et al.* (2010), Bastidas *et al.* (2010) y Villamizar *et al.* (2014) señalan que la causa de los eventos de blanqueamiento que afectaron a los arrecifes venezolanos se relaciona con períodos prolongados de calentamiento de la columna de agua (atípicos), que han sido asociados a anomalías climáticas.



Figura I.5.4 Colonias de *Meandrina meandrites*. Izq. Colonia con su coloración común, Der. Colonia con blanqueamiento. Fotografía Fundación Científica Los Roques, FCLR.

I.5.4.2 Impacto de la acidificación

Aunque el efecto de la acidificación de los océanos asociado al exceso de emisiones de dióxido de carbono sobre organismos calcificadores, se encuentra bien estudiado, y los mecanismos que conducen a la pérdida de las tasas de calcificación en estos organismos están bien establecidos (Hoegh-Guldberg *et al.*, 2007), en Venezuela los estudios relativos a este tópico se restringen, hasta el presente, a la fosa de Cariaco. En esta zona se han estudiado los cambios en la abundancia de algunos organismos plantónicos calcificadores como los foraminíferos, sin embargo, no se han estimado aún las variaciones en sus tasas de calcificación (e.g. Mutshinda *et al.*, 2013). Se requieren estudios que llenen este vacío en el futuro. Dos áreas coralinas de gran relevancia nacional deberían ser investigadas al respecto. Por una parte, el Parque Nacional Archipiélago Los Roques, por su condición del sistema arrecifal más desarrollado y diverso de nuestro país y, el Refugio de Fauna Silvestre Isla de Aves, territorio insular de suma importancia geopolítica para el país, expuesto al impacto frecuente de huracanes y tormentas, donde una disminución en las tasas de calcificación de los organismos formadores de arrecifes, puede tener consecuencias negativas para la estabilidad de los sedimentos no consolidados que constituyen la Isla, y poner en peligro su permanencia física en el sector centro-oriental del Caribe. La pérdida del territorio emergido de Isla de Aves podría representar para Venezuela una reducción de 165.000 km² de mar territorial y de la zona económica exclusiva.

I.5.4.3 Impacto de eventos extremos

En el 2008, el mayor Velásquez, jefe del Servicio de Meteorología de la Aviación militar venezolana, presentó evidencias históricas del cambio climático en Venezuela, basándose en las variaciones de parámetros meteorológicos como temperatura del aire, intensidad de las precipitaciones y número de días con lluvia, en distintas zonas del país. Sus resultados ponen en evidencia, para la década de los años 90, un aumento de la temperatura promedio, especialmente notorio en la región norte del país, incluida la zona costera. También señaló el desplazamiento de perturbaciones tropicales como los huracanes, indicando una tendencia a formarse con mayor frecuencia por debajo del paralelo 10°N, y acotando que, de seguir este comportamiento, los mismos podrían impactar en forma directa la costa caribeña del país.

Un ejemplo de evento extremo, relacionado a parámetros meteorológicos, es el caso de la condición de hiposalinidad ocurrida a finales de 1996 en varias localidades del Parque Nacional Morrocoy: las intensas precipitaciones de ese año produjeron una baja de salinidad de las aguas marinas del área, que oscilaba entre 1 y 16‰. Esta hiposalinidad condujo a la mortalidad de diversas especies marinas y a la desaparición de lechos de hierbas marinas en varias localidades del parque (Pérez & Galindo, 2000). Sin embargo, de acuerdo a las autoras, a pesar de que los lechos de *Thalassia testudinum* mostraron inicialmente una reacción de estrés (pérdida de biomasa de hojas e incremento de

tejidos muertos) y una recuperación lenta, luego de cierto tiempo (4 años), la tasa de producción de biomasa foliar, productividad y reproducción asexual, superó los valores estimados previos al evento.

El ejemplo más notorio y claro del impacto de eventos climáticos extremos sobre los sistemas marino-costeros en Venezuela está representado por las precipitaciones ocurridas en el Estado Vargas en 1999. Además de haber tenido consecuencias graves en términos de pérdidas de vidas humanas y materiales (según datos oficiales), el deslave produjo una serie de alteraciones en la línea costera del Estado Vargas. Los efectos de esta alteración sobre las comunidades de organismos litorales no fueron cuantificados, o al menos en esta revisión no se encontraron trabajos publicados al respecto. Chollet & Bone (2007) demostraron que los niveles de precipitación de diciembre de 1999 estuvieron por encima de los registrados en los últimos 32 años. Esta pluviosidad extrema ocasionó una disminución en la salinidad del agua en las zonas internas del Parque Nacional Morrocoy que alcanzaron los 3 PSU (Practical Salinity Unit, por sus siglas en inglés), lo que causó eventos de mortandad importantes sobre los pastos marinos y la fauna asociada. Estos autores reportaron que la comunidad de poliquetos asociada a los pastos marinos tuvo una respuesta rápida a este disturbio puntual, recuperándose rápidamente. En Morrocoy, la caída de salinidad produjo una mortandad extensa sobre los organismos sésiles asociados a las raíces de *Rhizophora mangle* (Cróquer, obs. pers.); no obstante, en esta revisión no se encontraron trabajos que evaluaran dicha pérdida y/o la recuperación de estas comunidades incrustantes.

La problemática de los manglares en el país es el resultado del efecto combinado de los impactos derivados de las actividades humanas y de la variabilidad del clima, debido a la frecuencia de eventos ENSO extremos (1990-1994), asociados a sequías severas (hasta 19 meses de sequía). Ambos factores se proponen como la causa de deterioro y mortalidad masiva observada en manglares de la costa caribeña de Venezuela, que crecen bajo condiciones hidroedáficas cercanas al umbral de tolerancia de las especies. Barreto (2008) da evidencias para la localidad del Golfete de Cuare, de impactos que producen modificaciones importantes en la dinámica de estos manglares, entre éstos, cambios en la composición florística y complejidad estructural, así como una disminución del 58% de la cobertura total de estos manglares (Figura 1.5.5 y Figura 1.5.6). La mortalidad registrada en los manglares del Parque Nacional Morrocoy y Refugio de Fauna Silvestre de Cuare, donde predominan las especies de manglar, *Rhizophora mangle* (mangle rojo) y *Laguncularia racemosa* (mangle blanco), debido a la hipersalinización del suelo, promueve la colonización, sobrevivencia y dominancia de *Avicennia germinans* (mangle negro), en las zonas anteriormente dominadas por las otras especies.



Figura I.5.5 Manglar de Caño Pancho, Refugio de Fauna Silvestre de Cuare (RFSC, Estado Falcón, Venezuela). Fotografía María Beatriz Barreto.



Figura I.5.6 Manglar de Boca del Zorro, Parque Nacional Morrocoy (PNM-Estado Falcón, Venezuela). Fotografía Eduardo Barreto.

Es importante resaltar que la condición de áreas protegidas no garantiza la permanencia de los manglares, sólo reduce el daño por impactos directos, como la tala. Por lo tanto, el manejo y recuperación de estas áreas debe incluir aspectos esenciales como la conectividad hidrológica y considerar variables como los cambios en el nivel del mar y del régimen de lluvias, el aumento de la temperatura y de la concentración de CO₂. Por ejemplo, las condiciones de alta salinidad de los suelos intensifican el efecto negativo de las sequías extremas durante los eventos ENSO, e incrementan la vulnerabilidad de estos sistemas. Por otra parte, también se ve alterado el potencial de estos ecosistemas como sumideros de carbono (Barreto, 2016).

I.5.5 Iniciativas que evalúan el efecto del cambio climático sobre algunas especies presentes en hábitats marino-costeros en el país.

I.5.5.1 Vertebrados marino-costeros en peligro de extinción

No se evidencia la existencia de propuestas oficiales de mitigación y adaptación, vinculadas a los vertebrados marino-costeros considerados por la legislación venezolana como en peligro de extinción (y en diversas categorías de amenaza por la UICN) y que utilizan las zonas costeras con fines de alimentación y/o con fines reproductivos, los cuales son: de la familia *Crocodylidae*, el caimán de la costa (*Crocodylus acutus*) y las tortugas marinas de las familias *Cheloniidae* (*Chelonia mydas*, *Eretmochelys imbricata*, *Caretta caretta*; vale aclarar que para la *Lepidochelys olivacea* no se ha podido comprobar el desove en el país) y Dermochelyidae (*Dermochelys coriacea*).

Además de las implicaciones obvias de afectación y pérdida de hábitat de anidación para el caimán de la costa y las tortugas marinas, los reptiles mencionados tienen su determinación sexual afectada por la temperatura de incubación, lo cual además hace previsible afectaciones en la proporción sexual de las crías en un escenario de aumento de la temperatura global. La única iniciativa conocida, orientada a evaluar los efectos del cambio climático sobre estas especies, no pudo concretarse debido al fallecimiento del profesor Joaquín Butriago, propulsor y coordinador del proyecto titulado “Identificación y socialización mediante participación comunitaria de posibles efectos del cambio climático en una especie oceánica y costanera en peligro crítico; la tortuga cardón *Dermochelys coriacea* en la península de Paria”. Con relación a esta temática se sugieren cuatro (4) áreas prioritarias de investigación: (1) investigaciones sobre los cambios en los hábitats de anidación disponibles para las tortugas marinas y el caimán de la costa, en las áreas prioritarias para estas especies, tanto en los territorios continentales como insulares, así como el seguimiento de la temperatura de incubación en dichas áreas, (2) el modelado de cambios en la línea costera por el aumento del nivel del mar, (3) el modelado de impactos por eventos climáticos extremos en territorios continentales e insulares y (4) desarrollo de planes de mitigación y adaptación ante el cambio climático en los hábitats de alimentación

y anidación (fanerógamas marinas y playas arenosas) de las distintas especies de tortugas marinas (Figura I.5.7).



Figura I.5.7 Tortuga verde *Chelonia mydas* arribando a playa arenosa del Refugio de Fauna Silvestre Isla de Aves (RFS Isla de Aves, Venezuela). Fotografía Luis Delgado.

I.5.5.2 El caso de la disminución de la pesquería de *Sardinella aurita* (Clupeiformes) en Venezuela y su relación con el calentamiento extremo de las aguas.

Uno de los artículos científicos que mejor muestra la relación entre alteraciones climáticas (debilitamiento anómalo de los vientos Alisios) y sus consecuencias (efecto cascada) sobre la dinámica de comunidades biológicas en ecosistemas marinos de Venezuela es el de Taylor *et al.*, (2012). La publicación se sustenta en la Serie de Tiempo Oceanológica Cariaco, correspondiente al período 1996-2010. Durante década y media se observaron las siguientes condiciones en la Fosa de Cariaco: un incremento en la temperatura de la superficie del agua de $1,0 \pm 0,14^{\circ}\text{C}$; acentuación de la estratificación de las aguas; reducción de nutrientes en la superficie; reducción de los *blooms* de fitoplancton y de la concentración de clorofila a, así como de la productividad primaria neta. Además, se observaron cambios en la composición de especies del fitoplancton y en la dominancia relativa de las especies fitoplanctónicas, lo cual fue muy notorio después del 2004, predominando los taxa más pequeños. Los datos de Cariaco también reflejan un incremento de la biomasa de mesozooplancton y un colapso de la producción de *Sardinella aurita*, especie ictícola que, por sus volúmenes de producción, ha

sido reconocida como el principal recurso pesquero de Venezuela, siendo el oriente del país la región de mayor abundancia del recurso. Taylor *et al.* (2012) realizaron el análisis de datos meteorológicos desde 1996 al 2010. conjuntamente con los resultados fisicoquímicos y biológicos antes mencionados, pudiendo concluir que la alteración del proceso de surgencia costera que regularmente ocurre en esta región del país, era producto de la historia reciente de calentamiento debido al cambio climático, como resultado de la expansión de la circulación de las *células de Hadley* en las últimas décadas.

De acuerdo con Gómez-Gaspar *et al.* (2012, 2014) la disminución de la fertilidad en las aguas del oriente del país y en particular el decrecimiento poblacional severo de las diatomeas a partir del año 2005, debido a la ausencia de surgencia costera, es la causa de la drástica disminución de *S. aurita* (Figura I.5.8).

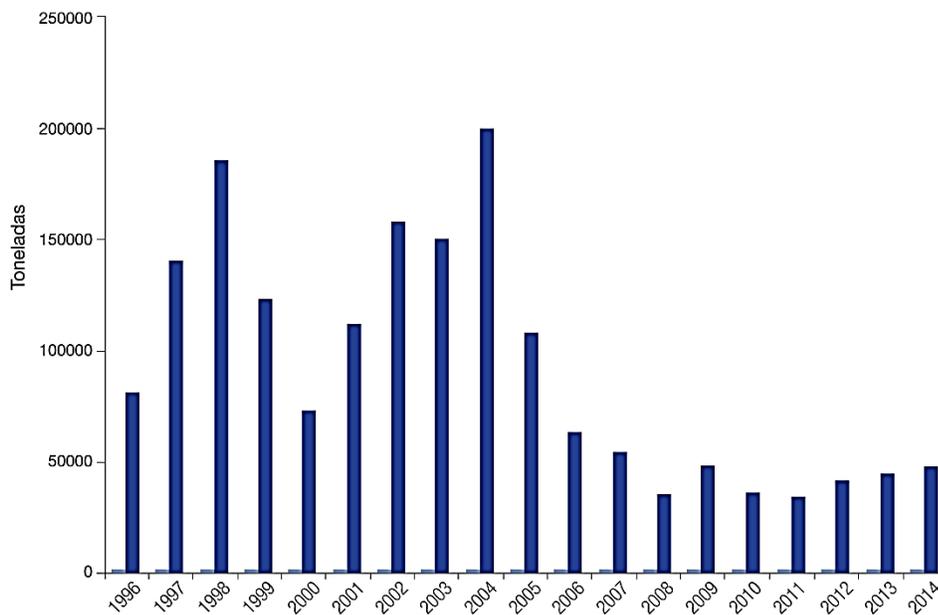


Figura I.5.8 Gráfica de producción pesquera (toneladas) de *Sardinella aurita* durante un período de 18 años. Se muestra el colapso a partir del año 2005. Figura elaborada con datos de INSOPESCA.

I.5.5.3 Otras especies (aves) de hábitats marino-costeros

No se han hecho estudios dirigidos a evaluar la afectación de las aves de ambientes marino-costeros debido al cambio climático en nuestro país, por lo que no se tienen evidencias al respecto. Las principales perturbaciones que originarían las alteraciones climáticas serían sobre los hábitats que las aves utilizan, muy especialmente los manglares. Se prevé, que las especies asociadas estrechamente al hábitat de manglar, como por ejemplo, *Rallus wetmorei*, conocida como polla de mangle (endémica), así como *Laterallus levraudi*, pudieran verse muy afectadas (Rodríguez *et al.*, 2004). También las especies que anidan en el suelo, entre la vegetación costera, escombros coralinos y arena, tales como los pájaros

bobos, gaviotas (Figura I.5.9) y playeros (Figura I.5.10), pueden ser afectadas por el incremento del nivel del mar, procesos erosivos y la pérdida de cobertura vegetal.

I.5



Figura I.5.9 Aves playeras, "Playeritas", en el Parque Nacional Archipiélago Los Roques (PNALR, Venezuela). Fotografía Estrella Villamizar y Mercedes Duque.



Figura I.5.10 Aves playeras, "Gaviotas", en el Parque Nacional Archipiélago Los Roques (PNALR, Venezuela). Fotografía Estrella Villamizar y Mercedes Duque.

I.5.6 Conclusiones y recomendaciones

- A partir de la búsqueda bibliográfica realizada y la consulta a los expertos en distintas comunidades marinas, se evidencia que la información sobre los efectos del cambio climático en Venezuela en los ambientes marino-costeros y su flora y fauna asociada, es muy limitada.
- La revisión demuestra claramente evidencias correlativas entre eventos climáticos fuera del comportamiento esperado, y la dinámica y estructura de los arrecifes de coral, praderas de pastos marinos y las densidades poblacionales y consecuentes tasas de producción, de la sardina *Sardinella aurita* en el oriente del país.
- No se ha abordado aún el efecto del cambio climático sobre la productividad de comunidades como las praderas de hierbas marinas presentes en la mayor parte de las zonas sublitorales someras del país, así como tampoco sobre las macroalgas establecidas sobre las plataformas y acantilados rocosos; que representan a su vez, el hábitat y fuente de alimentación para muchos moluscos de importancia para las poblaciones humanas locales de algunas regiones de Venezuela.
- De igual forma, no existen en la literatura consultada, estudios que pongan en evidencia, de manera directa, las consecuencias del cambio climático sobre las comunidades de manglares de Venezuela y su papel como sumideros de carbono, así como la dinámica y procesos funcionales que le confieren su alto valor. Sin embargo, la sensibilidad de estas comunidades vegetales costeras al cambio climático, es reconocida y ha sido puesta en evidencia en muchos otros lugares del mundo. Se evidencia la falta de información en este sentido, ya que sistemas como los manglares y las fanerógamas marinas son ampliamente reconocidos como "áreas criadero", especialmente de especies ictícolas que representan recursos pesqueros de gran importancia en nuestro país. Por otra parte, no existen estudios que formalmente hayan abordado la relación causa-efecto entre algún evento climático anómalo y alteraciones en el comportamiento natural y variable en la estructura y función de las comunidades biológicas asociadas a estos ambientes.
- La revisión de la literatura no arroja la existencia de estudios de monitoreo de la dinámica de la línea de costa del extenso territorio insular del país, y los efectos del nivel del mar, tormentas y huracanes, sobre sus dimensiones, así como tampoco de la afectación de las distintas comunidades bióticas que la conforman.
- Más información sobre el efecto de la acidificación de los océanos es necesaria en sistemas claves como los arrecifes coralinos.

- Aunque existen trabajos que analizan los efectos potenciales del cambio climático sobre los ecosistemas marino-costeros de Venezuela, en gran parte de ellos no se demuestra experimentalmente una relación causa-efecto entre cambio climático y los patrones observados.
- Como conclusión general derivada de la presente revisión bibliográfica, se puede afirmar que la investigación acerca de los efectos del cambio climático sobre los ecosistemas marino-costeros de Venezuela, está apenas en sus inicios.

Referencias

- Amado-Filho, G. M., Pereira-Filho, G. H., Bahia, R. G., Abrantes, D. P., Veras, P. C., & Matheus, Z. (2012). Occurrence and distribution of rhodolith beds on the Fernando de Noronha Archipelago of Brazil. *Aquatic botany*, 101: 41-45.
- Astor, Y., Muller_Karger, F.; Scranton, M I. (2003) Seasonal and interannual variation in the hydrography of the Cariaco Basin: implications for basin ventilation. *Continental Shelf Research*, 23(1): 125-144.
- Barreto, M.B. (2008). Diagnostics about the state of mangroves in Venezuela: case studies from the National Park Morrocoy and Wildlife Refuge Cuare. In: Lieth, H., Garcia, M., Herzog, B. (Eds.), *Mangroves and Halophytes, Restoration and Utilisation*. Springer, Dordrecht, pp. 51–64.
- Barreto, C. R. (2016). *Uncovering the impacts of mangrove encroachment and warming on microbial community composition and function* (Doctoral dissertation) Villanova University).
- Bastidas, C., Bone, D., Croquer, A., Debrot, D., Garcia, E., Humanes, A., ... & Rodríguez, S. (2012). Massive hard coral loss after a severe bleaching event in 2010 at Los Roques, Venezuela. *Revista de Biología Tropical*, 60: 29-37.
- Bellwood, D. R., Wainwright, P. C., Fulton, C. J., & Hoey, A. S. (2006). Functional versatility supports coral reef biodiversity. En: *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 273(1582): 101-107.
- Black, D. E., Thunell, R. C., Kaplan, A., Peterson, L. C., & Tappa, E. J. (2004). A 2000-year record of Caribbean and tropical North Atlantic hydrographic variability. *Paleoceanography*, 19(2).
- Bone, D. (2001). Programa CARICOMP: Monitoreo a largo plazo de los ecosistemas marinos del Parque Nacional Morrocoy, Venezuela. *Interciencia*, 26(10): 457-462.
- Brandt, M. E., & McManus, J. W. (2009). Disease incidence is related to bleaching extent in reef-building corals. *Ecology*, 90(10): 2859-2867.
- Chollett, I., & Bone, D. (2007). Effects of heavy rainfall on polychaetes: differential spatial patterns generated by a large-scale disturbance. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 340(2):113-125.
- Cróquer, A., Debrot, D., Klein, E., Kurten, M., Rodríguez, S., & Bastidas, C. (2010). What can two years of monitoring tell us about Venezuelan coral reefs? The Southern Tropical America node of the Global Coral Reef Monitoring Network (STA-GCRMN). *Revista de Biología Tropical*, 58:51-65.
- Del Mónaco, C., Haiek, G., Narciso, S., & Galindo, M. (2012). Massive bleaching of coral reefs induced by the 2010 ENSO, Puerto Cabello, Venezuela. *Revista de Biología Tropical*, 60(2):527-538.
- Eakin, C. M., Morgan, J. A., Heron, S. F., Smith, T. B., Liu, G., Alvarez-Filip, L., ... & Brandt, M. (2010). Caribbean corals in crisis: record thermal stress, bleaching, and mortality in 2005. *PloS one*, 5(11): e13969.
- Emanuel, K. (2005). Increasing destructiveness of tropical cyclones over the past 30 years. *Nature*, 436(7051): 686-688.
- Gabaldon, A. J. (2008). El cambio climático y sus posibles efectos sobre Venezuela. *Humania del Sur*, (4): 13-32.
- Gómez-Gaspar, A., Barceló, A., Mata, E., 2012. Condiciones hidrográficas (2007–2009) al sur de Isla Margarita y Península de Araya como indicio de disminución de la fertilidad regional y posible afectación del recurso sardinero venezolano. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela* 51(2): 173–186.
- Gómez-Gaspar, A., Mata, E., & Gómez, O. (2014). Crisis de la pesca de sardina en Venezuela: variación de la biomasa del fitoplancton en el este de Margarita, una década de estudio (2003-2012). *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, 53(1).
- Halpern, B. S., Walbridge, S., Selkoe, K. A., Kappel, C. V., Micheli, F., D'agrosa, C., ... & Fujita, R. (2008). A global map of human impact on marine ecosystems. *Science*, 319(5865): 948-952.
- Hoegh-Guldberg, O. (1999). Climate change, coral bleaching and the future of the world's coral reefs. *Marine and freshwater research*, 50(8): 839-866.
- Hoegh-Guldberg, O., & Bruno, J. F. (2010). The impact of climate change on the world's marine ecosystems. *Science*, 328(5985), 1523-1528.

- Hughes, T. P., Graham, N. A., Jackson, J. B., Mumby, P. J., & Steneck, R. S. (2010). Rising to the challenge of sustaining coral reef resilience. *Trends in ecology & evolution*, 25(11): 633-642.
- Hoegh-Guldberg, O., Mumby, P. J., Hooten, A. J., Steneck, R. S., Greenfield, P., Gomez, E., ... & Knowlton, N. (2007). Coral reefs under rapid climate change and ocean acidification. *Science*, 318(5857):1737-1742.
- Lesser, M. P., Falcón, L. I., Rodríguez-Román, A., Enríquez, S., Hoegh-Guldberg, O., & Iglesias-Prieto, R. (2007). Nitrogen fixation by symbiotic cyanobacteria provides a source of nitrogen for the scleractinian coral *Montastraea cavernosa*. *Marine Ecology Progress Series*, 346: 143-152.
- Laboy-Nieves, E. N., Klein, E., Conde, J. E., Losada, F., Cruz, J. J., & Bone, D. (2001). Mass mortality of tropical marine communities in Morrocoy, Venezuela. *Bulletin of Marine Science*, 68(2): 163-179.
- Lang, J. C., Lasker, H. R., Gladfelter, E. H., Hallock, P., Jaap, W. C., Losada, F. J., & Muller, R. G. (1992). Spatial and temporal variability during periods of "recovery" after mass bleaching on Western Atlantic coral reefs. *American Zoologist*, 32(6): 696-706.
- Marrero, C. & D. Rodríguez-Olarte. (2017). Los humedales costeros venezolanos en los escenarios de cambios climáticos: vulnerabilidad, perspectivas y tendencias. p. 461-476. En: Botello A.V., S. Villanueva, J. Gutiérrez y J.L. Rojas Galaviz (eds.). *Vulnerabilidad de las zonas costeras de Latinoamérica al cambio climático*. UJAT, UNAM, UAC. 476 p.
- McConnell, M. C., Thunell, R. C., Peterson, L. C., & Black, D. E. (2006, December). Timing and Magnitude of Tropical Climate Variability in the Cariaco Basin, Venezuela During Marine Isotope Stage 3. En: *AGU Fall Meeting Abstracts*.
- Martins, C. D., Arantes, N., Faveri, C., Batista, M. B., Oliveira, E. C., Pagliosa, P. R., ... & Horta, P. A. (2012). The impact of coastal urbanization on the structure of phytobenthic communities in southern Brazil. *Marine pollution bulletin*, 64(4): 772-778.
- Martelo, M. T. (2004). *Consecuencias ambientales generales del cambio climático en Venezuela*. Trabajo de ascenso, Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía, Maracay, Venezuela.
- Martinez, N. C., Murray, R. W., Thunell, R. C., Peterson, L. C., Muller-Karger, F., Astor, Y., & Varela, R. (2007). Modern climate forcing of terrigenous deposition in the tropics (Cariaco Basin, Venezuela). *Earth and Planetary Science Letters*, 264(3): 438-451.
- Miloslavich, P., Klein, E., Díaz, J. M., Hernández, C. E., Bigatti, G., Campos, L., ... & Carranza, A. (2011). Marine biodiversity in the Atlantic and Pacific coasts of South America: knowledge and gaps. *PLoS one*, 6(1): e14631.
- Mónaco, C. D., Haiek, G., Narciso, S., & Galindo, M. (2012). Massive bleaching of coral reefs induced by the 2010 ENSO, Puerto Cabello, Venezuela. *Revista de Biología Tropical*, 60(2):527-538.
- Muller-Karger, F., Varela, R., Thunell, R., Scranton, M., Bohrer, R., Taylor, G., ... & Walsh, J. J. (2001). Annual cycle of primary production in the Cariaco Basin: Response to upwelling and implications for vertical export. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 106(C3): 4527-4542.
- Muller-Karger, F. E., Varela, R., Thunell, R., Luerssen, R., Hu, C., & Walsh, J. J. (2005). The importance of continental margins in the global carbon cycle. *Geophysical research letters*, 32(1).
- Mutshinda, C. M., Finkel, Z. V., & Irwin, A. J. (2013). Which environmental factors control phytoplankton populations? A Bayesian variable selection approach. *Ecological modelling*, 269: 1-8.
- Mutshinda, C. M., Troccoli-Ghinaglia, L., Finkel, Z. V., Müller-Karger, F. E., & Irwin, A. J. (2013). Environmental control of the dominant phytoplankton in the Cariaco basin: a hierarchical Bayesian approach. *Marine Biology Research*, 9(3): 246-260.
- Naveda, J. (2010). Variación en el nivel del mar como consecuencia del cambio climático global: una evaluación de la costa venezolana. *Revista temas de coyuntura*, (61).
- Pérez, D., & Galindo, L. (2000). Efectos de la hiposaliniad en *Thalassia testudinum* (Tylrocharitaceae) del Parque Nacional Morrocoy, Venezuela. *Revista de Biología Tropical*, 48(Supl 1): 251-260.
- Rodríguez, J.P., F. Rojas-Suárez & Ch.J. Sharpe. (2004). Setting priorities for the conservation of Venezuela's threatened birds, *Oryx*, 38(4):373-382
- Szmant, A., & Gassman, N. J. (1990). The effects of prolonged "bleaching" on the tissue biomass and reproduction of the reef coral *Montastrea annularis*. *Coral reefs*, 8(4):217-224.

- Taylor, G. T., Muller-Karger, F. E., Thunell, R. C., Scranton, M. I., Astor, Y., Varela, R., ... & Doherty, O. (2012). Ecosystem responses in the southern Caribbean Sea to global climate change. En: *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(47): 19315-19320.
- Turra, A., Croquer, A., Carranza, A., Mansilla, A., Areces, A. J., Werlinger, C., ... & Scarabino, F. (2013). Global environmental changes: setting priorities for Latin American coastal habitats. *Global change biology*, 19(7): 1965-1969.
- Villamizar, E. (2000). Estructura de una comunidad arrecifal en Falcón, Venezuela, antes y después de una mortalidad masiva. *Revista de Biología Tropical*, 47:19-30.
- Villamizar, E., Camisotti, H., Rodríguez, B., Pérez, J., & Romero, M. (2008). Impacts of the 2005 Caribbean bleaching event at Archipiélago de Los Roques National Park, Venezuela. *Revista de Biología Tropical*, 56(1).
- Villamizar, E., Yranzo, A., González, M., Herrera, A. T., Pérez, J., & Camisotti, H. (2014). Diversidad y condición de salud de corales pétreos en algunos arrecifes del Parque Nacional Archipiélago Los Roques, Venezuela. *Acta Biologica Venezuelica*, 34: 2.
- Weil, E., Smith, G., & Gil-Agudelo, D. L. (2006). Status and progress in coral reef disease research. *Diseases of aquatic organisms*, 69(1): 1-7.
- Wernberg, T., Thomsen, M. S., Tuya, F., Kendrick, G. A., Staehr, P. A., & Toohy, B. D. (2010). Decreasing resilience of kelp beds along a latitudinal temperature gradient: potential implications for a warmer future. *Ecology letters*, 13(6): 685-694.
- Wernberg, T., Russell, B. D., Moore, P. J., Ling, S. D., Smale, D. A., Campbell, A., ... & Connell, S. D. (2011). Impacts of climate change in a global hotspot for temperate marine biodiversity and ocean warming. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 400(1): 7-16.
- Wilkinson, C. R., & Souter, D. N. (Eds.). (2008). *Status of Caribbean coral reefs after bleaching and hurricanes in 2005* (Vol. 148). Global Coral Reef Monitoring Network.



I.6 ÁREAS PROTEGIDAS

Coordinador líder
Edgard Yerena

Autores líderes
Shaenandhoa García-Rangel, Vilisa Morón

Palabras clave: áreas protegidas, conservación, diversidad biológica, Venezuela, América del Sur.



Figura I.6.1 Cuevas Refugio de Fauna Silvestre Cuare Edo Falcón, Venezuela, 2013. Fotografía Alicia Villamizar.

ACRÓNIMOS

CDB	Convenio de Diversidad Biológica
AP	Áreas Protegidas
IUCN	Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (por sus siglas en inglés)

I.6.1 Introducción

Según el Convenio de Diversidad Biológica (CDB, 1992: artículo 2), “se entiende por área protegida a un espacio geográficamente definido que es delimitado o regulado y gestionado para lograr objetivos de conservación específicos”. Hole *et al.* (2011) evidenciaron que éstas son una de las herramientas de mayor efectividad para la conservación de la biodiversidad cuando son bien gestionadas. En consecuencia, la Meta 11 de Aichi del Plan Estratégico para la Diversidad Biológica 2011–2020 adoptado por las partes de la CBD, establece que la cobertura global de áreas protegidas (AP) debe abarcar para el año 2020, al menos 17% de las áreas terrestres y aguas continentales, así como 10% de las áreas marinas y costeras, a fin de mejorar el estatus de las especies amenazadas y reducir las presiones antrópicas sobre los ecosistemas a nivel mundial. Para Venezuela, tanto la definición de AP como las metas establecidas en los protocolos de la CBD, son vinculantes. El marco general interno lo da la Ley Orgánica para la Ordenación del Territorio (año 1983). Si bien el término “área protegida” no es recogido en esta ley, su concepto está incorporado en algunas de las categorías de “áreas bajo régimen de administración especial” que ella reconoce (Naveda & Yerena, 2010). A pesar de no estar explícitamente definido por la legislación nacional se puede hablar con propiedad de la existencia de un sistema nacional de AP, y concluir que éste es representativo de todas las provincias fisiográficas tipificadas en el territorio (Naveda & Yerena, 2010). Está estructurado por 43 Parques Nacionales, 36 Monumentos Naturales, 7 Refugios de Fauna Silvestre, 7 Reservas de Fauna Silvestre, 1 Santuario de Fauna Silvestre y 2 Reservas de Biosfera (Tabla I.6.1 y Figura I.6.2).

Tabla I.6.1 Nivel de cubrimiento territorial alcanzado por el Sistema de Parques Nacionales de Venezuela por provincia fisiográfica, indicando el número de unidades de manejo por categoría y el porcentaje de cobertura territorial

Provincias Fisiográficas de Venezuela	Superficie (km ²)	Nivel de protección			
		Categorías de Manejo		Superficie (km ²)	% de Territorio
		PN	MN		
I. Plataforma Continental, Islas y Llanuras Costeras	277.760,37	9	4	11.956,60	4,30
II. Cordillera de la Costa	39.677,47	9	7	5.380,13	13,56
III. Valles y Serranías Falcón-Lara-Yaracuy	24.330,04	4	1	891,50	3,66
IV. Cordillera de Los Andes	45.821,74	12	5	12.554,00	27,40
V. Llanos	222.423,90	3	0	15.851,18	7,13
VI. Guayana Venezolana	431.427,70	6	19	97.118,15	22,51

Fuente: adaptada de Naveda & Yerena, 2010: p.233.

A nivel nacional, las AP abarcan 18,85% del territorio emergido venezolano y 4.220 km² de superficie marina (Yerena & Naveda, 2014). Sin embargo, la falta de continuidad en la gestión pública, los altibajos de la economía nacional, la dependencia petrolera y el acelerado crecimiento poblacional y urbano del país, han dificultado la consolidación de una gestión ambiental efectiva (MPPPA, 2010). En consecuencia, la pérdida de biodiversidad y de ecosistemas clave para la provisión de servicios ecosistémicos (ej. bosques), continúa, tanto dentro como fuera de las APs, a causa de actividades antrópicas no controladas, que ponen en riesgo el patrimonio natural de Venezuela (Blanco Márquez & Álvarez Cordero, 2009; Isasi-Catalá, 2009).

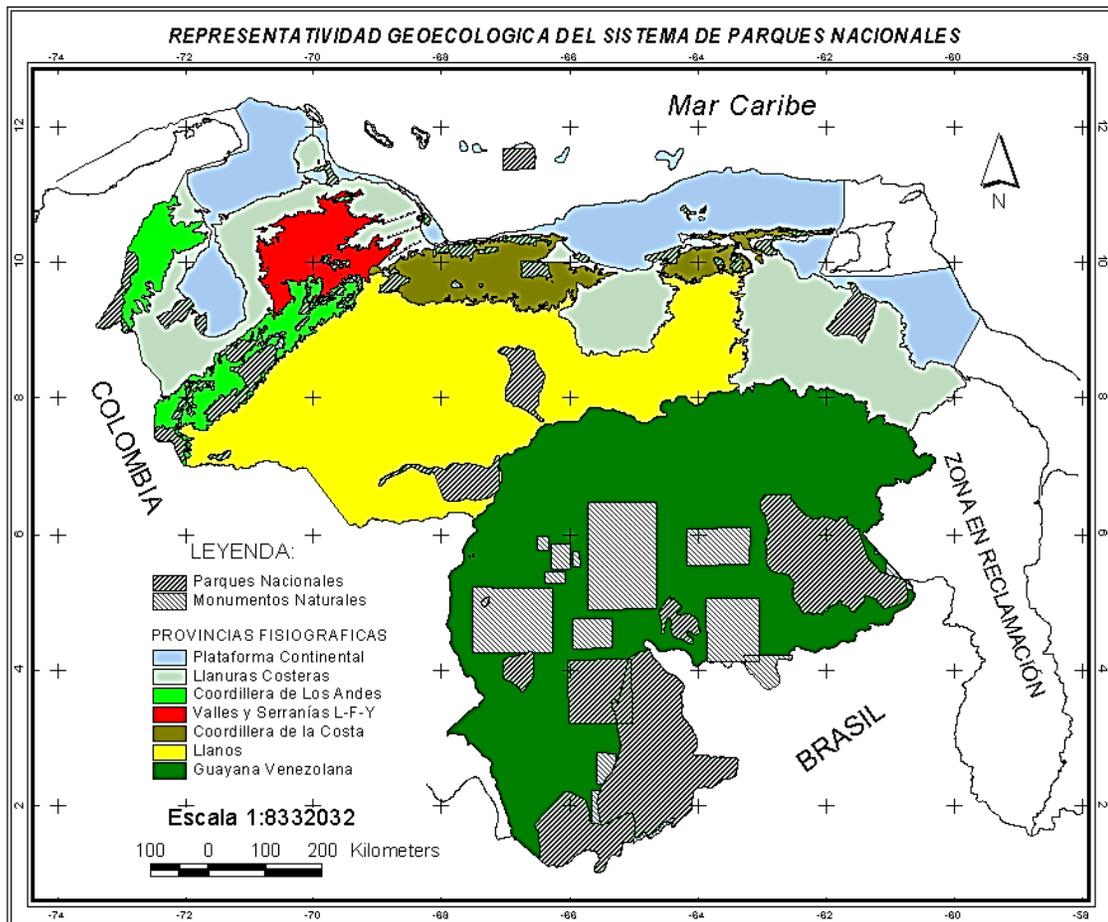


Figura I.6.2 Distribución de los Parques Nacionales y Monumento Naturales en las diferentes Provincias Fisiográficas. Figura adaptada de Naveda & Yerena, 2010.

I.6.2 Revisión bibliográfica: búsqueda de evidencias

Hoy en día, el cambio climático es reconocido como una amenaza para el funcionamiento efectivo de las AP a nivel global (Hannah, 2008). Diversos estudios demuestran que el cambio climático ha ocasionado cambios en la composición de las comunidades biológicas, estrés fisiológico con cambios de la productividad ecosistémica, así como alteraciones en procesos ecológicos en un gran número de AP (Peñuelas & Filella, 2001; Midgley, *et al.*, 2002; Root *et al.*, 2003; Parmesan & Yohe, 2003). Más

aún, de acuerdo con el 5to. Reporte del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) publicado en 2013, sinergias entre el cambio climático y otros cambios globales de origen antrópico (ej. alteraciones en la cobertura de la tierra) podrían sobrepasar el nivel de estrés eco-fisiológico que muchos ecosistemas podrían tolerar (Stocker *et al.*, 2013).

Dadas las evidencias globales del impacto que el cambio climático está teniendo en las AP, se llevó a cabo una revisión bibliográfica sistemática, focalizada en publicaciones de interés nacional, para describir el estado de conocimiento sobre los posibles efectos de este proceso en el sistema nacional de AP, a partir de la información obtenida de la revisión. Esta información es de suma importancia, dado el compromiso asumido por Venezuela para la protección de su biodiversidad, y en vista de que las AP proveen servicios ecosistémicos fundamentales para la población nacional, como por ejemplo, la generación del 60% del presupuesto energético del país. La información generada podría además orientar esfuerzos hacia el cumplimiento de los siguientes objetivos: 1) garantizar la conservación del hábitat y los ecosistemas y 2) el diseño y la implementación de programas para mitigación de impactos y restauración de ecosistemas degradados y fragmentados, que son base de la Estrategia para la Conservación de la Diversidad Biológica.

Se describen las posibles repercusiones de los efectos del cambio climático para el sistema nacional de AP, a partir de la información obtenida, compilando información sobre las posibles implicaciones de los efectos del cambio climático para el sistema nacional de AP. Los resultados se presentan de forma sistematizada y se describen los posibles efectos del cambio climático en el sistema de áreas protegidas de Venezuela. Finalmente, se presentan argumentos sobre las posibles repercusiones de los efectos del cambio climático en el sistema de áreas protegidas de Venezuela, para el cumplimiento de metas nacionales e internacionales asociadas a la conservación de la biodiversidad.

La revisión sistemática de bibliografía se llevó a cabo utilizando el buscador Google Académico, combinando las siguientes palabras claves (en inglés y español): áreas protegidas, cambio climático, Venezuela, monumento natural, parque nacional, reserva de fauna, refugio de fauna, reserva de biósfera, calentamiento global. Los criterios de búsqueda utilizados fueron:

1. Revisión de los primeros 100 resultados para cada combinación: Tipo de área protegidas+cambio climático y Tipo de área protegida+calentamiento global, seleccionando artículos arbitrados y/o informes técnicos en los que se evaluaron los efectos del cambio climático en ecosistemas y/o comunidades resguardados dentro de las APs a nivel nacional publicados en los últimos 10 años.
2. Esta búsqueda fue complementada con la incorporación de los posibles impactos considerados en el informe técnico sobre cambio climático y AP de Venezuela (Naveda, 2015), elaborado como

informe interno del Instituto Nacional de Parques (INPARQUES), en el que se considera literatura gris que no está accesible en internet.

La búsqueda sistemática arrojó un total de 9 publicaciones y/o reportes técnicos relevantes, además del estudio de Naveda (2015) antes mencionado. Dichos estudios se concentran, en su mayoría (i.e. 4 publicaciones) en los Parques Nacionales Archipiélago de Los Roques (N=2) y Laguna de Tacarigua (N=2), ubicados en la zona marino-costera del país. Además, 2 trabajos realizados en el páramo andino y uno realizado en la zona de tepuyes del Macizo Guayanés. Aunado a esto, se consideró pertinente incluir el análisis general del impacto del cambio climático en el país (Gabaldón 2008) donde se hace mención a las AP y a las memorias del Primer Simposio de Cambio Climático de Venezuela, organizado por la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales (ACFIMAN) en el año 2013. Se advierte, sin embargo, que esta información no es suficiente para realizar un análisis de mayor alcance sobre los impactos del cambio climático en el sistema nacional de AP.

I.6.3 Resultados

Naveda (2015), realiza una evaluación general sobre los posibles impactos del cambio climático en el sistema nacional de AP (Tabla I.6.2). A través de este análisis se puede inferir una potencial homogenización de hábitats y con ello la pérdida de diversidad biológica. Además, se destaca que los ecosistemas con mayor riesgo de desaparecer o de experimentar fuertes reducciones, son los reportados como más diversos (i.e. arrecifes coralinos y bosques lluviosos tropicales u ombrófilos megatérmicos). De ser ciertas estas inferencias, la situación sería alarmante.

Olivo *et al.* (2001) estiman el retiro de la línea de costa en unos 30 m en el Parque Nacional Laguna de Tacarigua, y que un aumento en el nivel del mar de 0,5 m podría ocasionar la pérdida de entre 5,22 y 8,38 km de costa como consecuencia del proceso erosivo que se activaría (Olivo *et al.*, 2001). Olivo *et al.* (2012) sugieren implantar un sistema de Manejo Integrado de Áreas de Costa que permita enfrentar los procesos erosivos y la potencial inundación ocasionados por el incremento del nivel del mar asociado al cambio climático en este parque nacional.

Tabla I.6.2 Identificación de lista de AP por provincia fisiográfica, los posibles impactos del cambio climático y los ecosistemas que podrían resistir dichos cambios.

PROVINCIAS FISIGRÁFICAS	ÁREAS PROTEGIDAS	IMPACTOS PROBABLES POR CAMBIO CLIMÁTICO	POSIBLES PAISAJES Y ECOSISTEMAS RESISTENTES AL CAMBIO CLIMÁTICO
<p>I. Plataforma Continental Islas y Llanuras Costeras.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. PN Ciénagas de Juan Manuel. 2. PN Médanos de Coro. 3. PN Morrocoy. 4. PN San Esteban (Sector Marion-Costero). 5. PN Laguna de Tacarigua. 6. PN Mochima (Sector Marino-Costero). 7. PN Turuepano. 8. PN Mariusa. 9. PN Laguna de la Restinga. 10. PN Archipiélago Los Roques. 11. PN Cerro Copey. 12. MN Cerro Santa Ana. 13. MN Tetas de María Guevara. 14. MN Laguna de las Marites. 15. MN Cerro Matasiete y Guayamurí. 16. RFS Ciénaga de los Olivitos. 17. RFS de Cuare. 18. RFS Isla de Aves. 19. RFS Laguna Boca de Caño. 20. ResFS Ciénagas de Juan Manuel. 21. ResFS Ciénaga de la Palmita e Isla de Pájaros. 22. ResFS de Tucurere. 23. ResFS Hueque – Sauca. 24. ResFS Gran Morichal. 25. ResFor. Río Tocuyo. 26. ResFor. De Imataca (Sector norte de tierras bajas del Delta y río Barima). 27. ResBio. Delta del Orinoco. 28. SFS Cuevas de Paraguaná. 	<ul style="list-style-type: none"> • Pérdida de llanuras costeras con fuertes modificaciones en las líneas de costa. • Erosión de playas arenosas y reubicación de nuevas playas. • Reducción y desaparición de islas. • Cambio en la fisicoquímica del mar por recalentamiento. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Acantilados costeros rocosos y sedimentarios. 2. Islas de origen tectónico con unidades geomorfológicas de montaña, reducción de sus planicies costeras y modificaciones espaciales de distribución de manglares. 3. Cambios en los ecosistemas de fondos marinos blandos (fangosos y arenosos). 4. Reducción de ecosistemas de fanerógamas marinas. 5. Ambientes rocosos de interface para peces demersales. 6. Cambios fisicoquímicos en los ambientes pelágicos. 7. Cambios espaciales de los ambientes bentónicos de interface agua – aire en bases de acantilados y rocas emergidas. 8. Reducción y cambios espaciales de ambientes deltaicos, particularmente cambios en los patrones de distribución de los manglares.

Tabla I.6.2 Cont.

PROVINCIAS FISIográfICAS	ÁREAS PROTEGIDAS	IMPACTOS PROBABLES POR CAMBIO CLIMÁTICO	POSIBLES PAISAJES Y ECOSISTEMAS RESISTENTES AL CAMBIO CLIMÁTICO
<p>II. Cordillera de la Costa.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. PN San Esteban (Sector Montaña). 2. PN Henri Pittier. 3. PN Macarao. 4. PN Waraira Repano. 5. PN Guatopo. 6. PN Mochima (Sector Montaña). 7. PN Península de Paria. 8. PN Tirgua. 9. PN El Guácharo. 10. MN Cerro María Lionza. 11. MN Pico Codazzi. 12. MN Cueva del Guácharo. 13. MN Cueva Alfredo Jahn. 14. MN Cerro Platillón. 15. MN Morros de San Juan. 16. MN Morro de Macaira. 	<ul style="list-style-type: none"> • Cambios en los pisos térmicos, aumentando los pisos cálidos y disminuyendo los fríos. • Aumento de los incendios forestales. 	<p>En general se estiman modificaciones altitudinales de los pisos climáticos, con corrimientos de los pisos más cálidos y húmedos hacia zonas más altas, lo que reduciría o desaparecería a los pisos más fríos.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Ampliación de los matorrales espinosos costeros y cardonales (pueden darse cambios en su composición y diversidad). 2. Ampliación de los bosques tropófilos o caducifolios (montanos bajos). Estos pueden verse favorecidos por cambios climáticos, sufriendo modificaciones en la composición y diversidad, pero podrían reducirse por incendios forestales. 3. Potencial ampliación de bosques semidecíduos o de transición (montanos). Al igual que los anteriores, podrían favorecerse del aumento de las temperaturas, pero reducirse por incendios forestales. 4. Aumento de las sabanas secundarias de laderas de montaña, pudiendo mantener algunos componentes arbustivos y arbóreos. 5. Fuerte reducción de los bosques húmedos siempre verdes montanos, quedando restringidos a las cordilleras más altas. 6. Reducción de bosques de galería de montaña, manteniéndose dependiendo del caudal de sus ríos. Pérdida de conexión entre pisos altitudinales. 7. Aumento en la distribución de los herbazales secundarios de <i>Pteridium ps.</i>

Tabla I.6.2 Cont.

PROVINCIAS FISIGRÁFICAS	ÁREAS PROTEGIDAS	IMPACTOS PROBABLES POR CAMBIO CLIMÁTICO	POSIBLES PAISAJES Y ECOSISTEMAS RESISTENTES AL CAMBIO CLIMÁTICO
<p>III. Valles y Serranías Falcón-Lara-Yaracuy.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. PN Sierra San Luis. 2. PN Yurubí. 3. PN Cerro Saroche. 4. PN Cueva Quebrada del Toro. 5. MN Loma de León (Sector Semiárido). 	<ul style="list-style-type: none"> • Posible cambio de climas semiárido a desérticos por aumentos de la temperatura promedio y disminución de las precipitaciones. 	<p>Los cambios esperados para esta Provincia pueden estar asociados a la transición de ambientes semiáridos a áridos (PP ≤ 200 mm) o a desértico (PP ≤ 100 mm).</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Aumento de bosques espinosos con nuevos componentes dominantes. 2. Aumento de bosques y matorrales de cardonales. 3. Reducción o desaparición de bosques ralos riparios que terminan en pequeñas unidades de bosques bajos sobre unidades geomorfológicas de deltas secos. 4. Aumento de matorrales espinosos muy ralos. 5. Los paisajes de médanos activos podrían verse favorecidos, pero dependerá de la fuente de sedimentos. Si el aumento en el nivel del mar erosiona las playas arenosas entre La Vela y Adícora, incluyendo el Istmo, los médanos desaparecen. 6. Posible reducción o desaparición de matorrales de <i>Prosopis sp</i> alineados por el viento sobre suelos arenosos.

Tabla I.6.2 Cont.

PROVINCIAS FISIGRÁFICAS	ÁREAS PROTEGIDAS	IMPACTOS PROBABLES POR CAMBIO CLIMÁTICO	POSIBLES PAISAJES Y ECOSISTEMAS RESISTENTES AL CAMBIO CLIMÁTICO
<p>IV. Cordillera de Los Andes.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. PN Tamá. 2. PN Chorro El Indio. 3. PN Páramos Batallón y La Negra. 4. PN Tapo Caparo. 5. PN Sierra Nevada. 6. PN Sierra La Culata. 7. PN Guaramacal. 8. PN Dinira. 9. PN Yacabú. 10. PN El Guache. 11. PN Terepaima. 12. MN Abra de río Frío. 13. MN La Galera. 14. MN Laguna de Urao. 15. MN Chorrera de La González. 16. MN Teta de Niquitao y Páramo de Güirigay. 17. MN Loma de León (Sector Montañoso). 	<ul style="list-style-type: none"> • Cambios en los pisos térmicos, aumentando los pisos cálidos y disminuyendo los fríos. • Aumento de los incendios forestales. 	<p>Al igual que la Cordillera de la Costa, se estiman modificaciones altitudinales de los pisos climáticos, con corrimientos de los pisos más cálidos y húmedos hacia zonas más altas, lo que reduciría o desaparecería a los pisos más fríos. Adicionalmente, los cambios en la diversidad y composición de especies es impredecible.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Reducción de bosques semidecíduos o de transición (montanos). 2. Aumento de las sabanas secundarias de ladera de montaña (puede o no tener componentes arbóreos o arbustivos). 3. Reducción de los bosques húmedos siempre verdes montanos. Quedarían restringidos a las localidades más altas de la cordillera. 4. Reducción de bosques de galería de montaña, dependiendo de los caudales que conserven sus ríos. Pérdida de la interconexión entre pisos altitudinales de vegetación. 5. Expansión de matorrales secundarios altoandinos de <i>Opuntia sp</i> (producto de la agricultura en laderas empinadas). 6. Expansión de los matorrales semiáridos (xéricos) interandinos.
<p>V. Llanos.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. PN Río Viejo San Camilo. 2. PN Cinaruco Capanaparo. 3. PN Aguaro Guariquito. 4. RFS Esteros de Chiriguare. 5. RFS Caño Guaritico. 6. RFS De La Tortuga Arrau (Sector llanero). 7. ResFS Sabana de Anaro. 8. ResFS Esteros de Camaguán. 9. Res.For. San Camilo. 10. Res.For. de Caparo. 11. Res.For. De Ticoporo. 12. Res.For. de Turén. 	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción del período de lluvias y disminución de la media anual. • Fuerte reducción y pérdida de los regímenes de inundación. • Aumento de los incendios de vegetación. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Expansión generalizada de los componentes de la sabana, con o sin componentes arbolados (Chaparro manteco y otras especies resistentes a incendios). 2. Reducción de los bosques de galería dependiendo del caudal que logren sostener los ríos frente a condiciones climáticas más cálidas.

Tabla I.6.2 Cont.

PROVINCIAS FISIográfICAS	ÁREAS PROTEGIDAS	IMPACTOS PROBABLES POR CAMBIO CLIMÁTICO	POSIBLES PAISAJES Y ECOSISTEMAS RESISTENTES AL CAMBIO CLIMÁTICO
<p>VI. Guayana Venezolana.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. PN Parima Tapirapeco. 2. PN Canaima. 3. PN Serranía La Neblina. 4. PN Duida Marahuaka. 5. PN Yapacana. 6. PN Jaua Sarisariñama. 7. MN <i>Piedra</i> del Cocuy. 8. MN <i>Piedra</i> Pintada. 9. MN <i>Piedra</i> La Tortuga. 10. MN Autana. 11. MN Macizo Cuao-Sipapo. 12. MN Cerr Guanay. 13. MN Yutajé/Coro-coro. 14. MN Cerro Yaví. 15. MN Camani y Morrocroy. 16. MN Macizo Parú-Euaja. 17. MN Vinilla – Aratitiope. 18. MN Sierra Unturán. 19. MN Tapirapeco – Tamacuari. 20. MN Sierra Maigualida. 21. MN Cerro Guaiquinima. 22. MN Cerro Ichun – Guanacoco. 23. MN Sierra Maturani. 24. MN Venamo. 25. MN Cadena Oriental de Tepuyes. 26. Res.For. Sipapo. 27. Res.For. El Caura. 28. Res.For. La Paragua. 29. Res.For. San Pedro. 30. Res.For. de Imataca. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento de la temperatura promedio anual. • Disminución de la precipitación total anual y cambios en el régimen de lluvias. • Disminución de los caudales de los ríos. Muchos pasarán de caudales permanentes a semipermanentes o intermitentes. • Desaparición parcial o total de cascadas y saltos de agua. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Expansión de sabanas secundarias por efecto de los incendios forestales y de vegetación. 2. Reducción de bosques de galería dependiendo del caudal que sostengan los ríos. 3. Expansión de los herbazales secundarios de la penillanura de la gran sabana. 4. Posibles formaciones de matorrales y bosques con componentes deciduos y elementos espinosos.

Fuente: Naveda, 2015.

Por su parte Gabaldón (2008), hace mención a la vulnerabilidad de los parques nacionales Archipiélago de Los Roques, Morrocoy, San Esteban, Mochima y los Refugios de Fauna Silvestre de Isla de Aves y Cuare, ante la eminente degradación de las comunidades de arrecifes de coral debido al aumento de la temperatura del mar (Gabaldón, 2008). Villamizar *et al.* (2008) reportaron blanqueamiento de corales en el Parque Nacional Archipiélago de Los Roques producto de una elevación en la temperatura máxima del mar a 30°C, y posteriormente para mediados de septiembre del 2010, Bastidas *et al.* (2012) reportaron otro episodio de blanqueamiento al alcanzarse temperaturas de 30.85°C, lo que afectó un 72% de las 563 colonias de corales escleractinios muestreadas a 5m de profundidad en la misma AP (Bastidas *et al.*, 2012).

Para los sistemas de montaña andinos, de acuerdo con un estudio realizado en el Parque Nacional Sierra Nevada, se reportó el ascenso altitudinal del bosque nublado durante los últimos 50 años (Rodríguez Morales *et al.*, 2009). También hay evidencia de que el cambio climático podría favorecer la extensión de la distribución potencial de la papa, rubro de gran importancia en el estado Mérida, hacia los Parques Nacionales Sierra Nevada y Sierra de la Culata, de acuerdo con escenarios de cambio climático analizados. Dichas AP actualmente proveen de servicios vitales como el suministro de agua, por lo que es de gran interés entender esta dinámica para orientar procesos de ordenación territorial y planes de mitigación.

En sistemas únicos, como las montañas tabulares (tepuyes) del Macizo Guayanés, donde está ubicado el Parque Nacional Canaima, Rull *et al.* (2005), estimaron la posible desaparición de entre 8 y 33% del total de especies vegetales conocidas (i.e. 7 a 27 especies) asociada a un posible aumento de 2°C y 4°C en la temperatura promedio anual. Sin embargo, los autores acotan que la generación de mayor información sobre estas especies, podría modificar los límites fisiológicos actualmente conocidos para las mismas, y en consecuencia modificar estas estimaciones (Rull *et al.*, 2005).

I.6.4 Conclusiones y recomendaciones

- El limitado número de estudios encontrado a través de la búsqueda realizada y sus especificidades a nivel geográfico, pone en evidencia un importante vacío de información sobre los posibles impactos que el cambio climático podría generar en el sistema nacional de AP del país. En consecuencia, es fundamental fomentar las investigaciones en este tema a fin de poder orientar adecuadamente procesos de planificación para mitigar y adaptar el sistema a los efectos de este problema.
- Las evidencias permiten prever una situación alarmante para ecosistemas diversos, por lo que se requieren estudios que permitan conocer la capacidad de adaptación y resiliencia de cada uno de

los ecosistemas protegidos (en especial los de arrecifes coralinos y bosques lluviosos tropicales u ombrófilos megatérmicos) y su asociación con la provisión de servicios ecosistémicos clave para la población.

- Se recomienda establecer con carácter de urgencia una línea base y un plan de seguimiento asociado a: procesos climáticos y mareográficos, erosión de playas, composición de ecotonos altitudinales y cambios de cobertura y/o uso del suelo a lo largo del sistema nacional de AP.

Referencias

- Bastidas, C., Bone, D., Croquer, A., Debrot, D., Garcia, E., Humanes, A., ... Rodríguez, S. (2012). Massive hard coral loss after a severe bleaching event in 2010 at Los Roques, Venezuela. *Revista de Biología Tropical*, 60: 29–37.
- Blanco Márquez, A., & Álvarez Cordero, E. (2009). Investigación y monitoreo del águila arpía (*Harpia harpyja*) en la Reserva Forestal de Imataca, Estado Bolívar. En: *Una mano a la naturaleza: conservando las especies amenazadas venezolana* (p. 220). Caracas, Venezuela: Provita y Shell Venezuela. Recuperado a partir de about: newtab
- Córdova, K. (2011a). Geotecnología especial aplicada al estudio del clima urbano: análisis térmico superficial en la ciudad de Caracas – Venezuela. *Revista Geográfica Venezolana*, 52(2): 31-46.
- Córdova, K. (2011b). Impactos de las islas térmicas o islas de calor urbano, en el ambiente y la salud humana. Análisis estacional comparativo: Caracas, octubre – 2009, marzo – 2010. *Revista Terra*, 27(42): 95-122.
- Gabaldón, A. (2008). El cambio climático y sus posibles efectos sobre Venezuela. *Rev. Humanía del Sur*, 3(4): 13–32.
- García-Romero, A., Muñoz, J., Andrés, N., & Palacios, D. (2007). Influencia del cambio climático en la evolución de la vegetación nival de las montañas mediterráneas. Sierra de Guadarrama, España. (Spanish). *Espacio y Desarrollo*, (19): 37-52.
- Hannah, L. (2008). Protected Areas and Climate Change. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1134(1): 201–212. <http://doi.org/10.1196/annals.1439.009>
- Hole, D. G., Huntley, B., Arinaitwe, J., Butchart, S. H. M., Collingham, Y. C., Fishpool, L. D. C., ... Willis, S. G. (2011). Toward a Management Framework for Networks of Protected Areas in the Face of Climate Change. *Conservation Biology*, 25(2): 305-315. <http://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2010.01633.x>
- Isasi-Catalá, E. (2009). Estudios preliminares para la identificación de vacíos de conservación en el Parque Nacional Aguaro-Guariquito (Guárico), utilizando como especie bandera al yaguar (*Panthera onca*). En: *Una mano a la naturaleza: conservando las especies amenazadas venezolana* (p. 224). Caracas, Venezuela: Provita y Shell Venezuela.
- Martelo, M. (2004). *Consecuencias ambientales generales del cambio climático en Venezuela*. (Informe técnico). Caracas, Venezuela: Inameh. Recuperado a partir de <http://www.inameh.gob.ve/documentos/consecuencias.pdf>
- Moritz, C., Patton, J. L., Conroy, C. J., Parra, J. L., White, G. C., & Beissinger, S. R. (2008). Impact of a Century of Climate Change on Small-Mammal Communities En: *Yosemite National Park, USA. Science*, 322(5899): 261-264. <http://doi.org/10.1126/science.1163428>
- Naveda, J. (2010). Variaciones del nivel del mar como consecuencia del cambio climático global: una evaluación de la costa venezolana. *Temas de Coyuntura*, 61: 63-87.
- Naveda, J. (2015). *Cambio climático y áreas protegidas de Venezuela: posibles efectos ambientales y su contribución a la mitigación y adaptación* (Informe Técnico) (p. 64). Caracas, Venezuela: Instituto Nacional de Parques.
- Naveda, J., & Yerena, E. (2010). *Sistema de parques nacionales de Venezuela: Una evaluación aproximada de su situación actual*. Recuperado 6 de febrero de 2015, de: http://www.academia.edu/9805324/SISTEMA_DE_PARQUES_NACIONALES_DE_VENEZUELA_UNA_EVALUACION_APROXIMADA_DE_SU_SITUACION_ACTUAL
- Olivo, M. de L., Letthorny, E., Ramos, C. P., & Sosa, M. (2001). Pérdidas de tierra en la costa venezolana debido al incremento del nivel del mar. *Interciencia*, 26(10): 463–468.
- Olivo, M. de L., Sáez-Sáez, V., Zazo, A. M., & Olivo, A. S. (2012). Vulnerabilidad al incremento del nivel del mar: estrategias de adaptación en el área Cabo Codera-Laguna de Tacarigua, Estado Miranda, Venezuela. *Revista Terra*, 28(43): 45–70.
- Peñuelas, J., Sardans, J., Estiarte, M., Ogaya, R., Carnicer, J., Coll, M., ... Jump, A. S. (2013). Evidence of current impact of climate change on life: a walk from genes to the biosphere. *Global Change Biology*, 19(8), 2303-2338. <http://doi.org/10.1111/gcb.12143>

- I.6
- Pounds, J. A., Fogden, M. P. L., & Campbell, J. H. (1999). Biological response to climate change on a tropical mountain. *Nature*, 398(6728): 611-615. <http://doi.org/10.1038/19297>
- Rodríguez Morales, M., Chacón Moreno, E., & Ataroff Soler, M. (2009). Transformación del paisaje de selvas de montaña en la cuenca del río Capaz, Andes Venezolanos. *Ecotropicos*, 22(2): 64–82.
- Rull, V., Vegas-Vilarrúbia, T., & Nogué, S. (2005). *Cambio climático y diversidad de la flora vascular en las montañas tabulares de Guayana*. [Artículo]. Recuperado 2 de diciembre de 2013, de: <http://digital.csic.es/handle/10261/28405>
- Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G. K., Tignor, M., Allen, S. K., Boschung, J., ... Midgley, B. M. (2013). *IPCC, 2013: Climate Change 2013: the physical science basis*. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change.
- Sun, J., Li, X. Z., Wang, X. W., Lv, J. J., Li, Z. M., & Hu, Y. M. (2011). Latitudinal pattern in species diversity and its response to global warming in permafrost wetlands in the Great Hing'an Mountains, China. *Russian Journal of Ecology*, 42(2): 123-132. <http://doi.org/10.1134/S1067413611020111>
- Villamizar, E., Camisotti, H., Rodríguez, B., Pérez, J., & Romero, M. (2007). Impacts of the 2005 Caribbean bleaching event at Archipiélago de Los Roques National Park, Venezuela. *Revista de Biología Tropical*, 56(0). <http://doi.org/10.15517/rbt.v56i0.5591>
- Yerena, E., & Naveda, J. (2014). *The real extension of Venezuelan protected areas: lessons to assess Aichi Target 11*. Presentado en VI World Congress of National Parks; Stream 1 session on Protected Planet: status and trends of protected area coverage across countries., Sidney, Australia. Recuperado de: <http://www.slideshare.net/EdgardYerena/yerenanaveda-venezuelawpc2014>

PARTE II

PARTE II IMPACTOS, VULNERABILIDAD Y ADAPTACIÓN

GRUPO DE TRABAJO II (GTII)

Coordinadores

Alicia Villamizar y Eduardo Buroz Castillo



II.1 AGRICULTURA

Coordinador líder
Marelia Puche

Autores líderes
Eladys Córcega P., Víctor García G., Mercedes Pérez M.

Palabras clave: agricultura, sector agropecuario, ENSO, América del Sur, Venezuela.



Figura II.1.1 Embalse de Calabozo Edo Guárico 2016. Fotografía Alicia Villamizar.

Acrónimos

ABRAE	Áreas bajo régimen especial
AN	Efecto año de nacimiento
A-P	Ångstrom-Prescott
BH	Método del balance hídrico para determinar la disponibilidad de agua
CCC-EQ	Modelo canadiense de circulación general atmosférica
CM	<i>Theobroma cacao</i> L. Criollo Merideño
CNCC	Primera Comunicación Nacional en Cambio Climático
D7	Decadiario 7
dds	Días después de la siembra
DFrío	Acumulado del número de días con temperaturas mínimas por debajo de un umbral especificado
DIF	Número de días al inicio de la floración
DSSAT	Decision Support System for Agrotechnology Transfer:-Sistema para el apoyo de la toma de decisiones en transferencia de agrotecnología, Software para la simulación de cultivos
EN	Efecto época de nacimiento
ENSO	Fenómeno El Niño/Oscilación del Sur
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations - Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y agricultura
FEDEAGRO	Confederación de Asociaciones de Productores Agropecuario
GCM	General Circulation Model- Modelo de Circulación General Atmosférica
GD	Tiempo térmico o grados días
GEI	Gases de efecto invernadero
H	Efecto hato
H-S	Hargreaves-Samani
I	Índice de satisfacción hídrica
ICE	Índice de Caudal Estandarizado
IFA	Número de inflorescencias femeninas
IMA	Número de inflorescencias masculinas
INDER	Instituto Nacional de Desarrollo Rural
INE	Instituto Nacional de Estadísticas
INIA	Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change- Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático
ITH	Índice Temperatura Humedad
MARN	Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales
MINAMB	Ministerio del Poder Popular para El Ambiente, de la República Bolivariana de Venezuela
BEANGRO	Modelo de frijol del DSSAT
CERES-Maize	Modelo de maíz de DSSAT
CROPSIM	Modelo de yuca del DSSAT
CERES	Modelo de cereales del DSSAT
MOV	Método de acumulados móviles de siete días de precipitación y evapotranspiración para determinar la disponibilidad de agua
MPPAT	Ministerio del Poder Popular para la Agricultura y Tierras
PC	Método de períodos de crecimiento para determinar la disponibilidad de agua
PE	Porcentaje de estaciones con sequía
PIB	Producto Interno Bruto
Pif	Período de inducción floral
PLANARSAT	Plan Nacional de Agricultura de Riego y Saneamiento de Tierras
PPI	Promedio ponderado de infección

SPI	Standardized Precipitation Index- Índice de Precipitación Estandarizada
TC	Temperatura corporal
UCV	Universidad Central de Venezuela
UKTR	Modelo ingles de circulación general atmosférica
UP	Unidades de Producción
USD	Dolares estadounidenses
UT	Unidades de Tierra

II.1.1 Introducción

El presente informe reúne las investigaciones recopiladas sobre impactos agrícolas del cambio climático en el área agrícola en Venezuela, así como, vulnerabilidades y adaptación. Para su ejecución se recurrió a la revisión de diversas fuentes: bases de datos de publicaciones agrícolas, revistas agrícolas venezolanas, tesis de grado, estadísticas agrícolas y publicaciones generales sobre el tema en América Latina.

En general, los trabajos revisados en Venezuela se agrupan en cuatro grandes categorías: 1) variabilidad climática en Venezuela, 2) variabilidad climática y su impacto sobre la agricultura, 3) posibles impactos agrícolas del cambio climático, estrategias de adaptación y mitigación y 4) aspectos socioeconómicos relativos al cambio climático. Si bien las categorías 1 y 2 no corresponden directamente con el tema, su revisión se hizo con dos fines básicos: identificar particularidades de la variabilidad climática natural en Venezuela que pudieran cobrar mayor importancia en condiciones de cambio climático, y revisar aspectos relacionados con la respuesta de cultivos y animales ante las condiciones climáticas venezolanas.

En esta revisión se utilizará el término agrícola en su acepción más amplia, es decir, para hacer referencia tanto al sector agrícola como al pecuario. La revisión no incluye el sector pesquero ni el forestal.

II.1.2 Características generales de Venezuela y del sector agropecuario.

De una superficie total de 916.445 km², Venezuela poseía para el 2012, 34 mil km² cultivados, de los cuales 27 mil km² correspondían a cultivos anuales y 7 mil km² a cultivos permanentes. Su población total para el 2015 era de 31.108.000 habitantes, con una población rural de 3.260.000 habitantes. De acuerdo a cifras del 2014, el 4.5% de la población económicamente activa trabajaba en agricultura (FAO 2015; INE, 2016). La agricultura para el 2011 representaba el 6,62% del PIB.

Según el Ministerio del Poder Popular para la Agricultura y Tierras (MPPAT, 2008), en el 2008 existía un total de 424.256 unidades de producción agrícola (UP), el 3% de la superficie cultivada se distribuía en UP inferiores a 10 ha; el 16 % en UP entre 10 y 100 ha; el 27% en UP entre 100 y 500 ha y el 55% entre 500 y más de 5000 ha. Nótese que el 57% de las UP tiene extensiones inferiores a 10 ha y el 2.3% de las UP concentra más de la mitad de la superficie cultivada. En la [tabla II.1.1](#) se muestran los principales rubros y cultivos sembrados en Venezuela en el año 2014 (FEDEAGRO, 2016). En este sentido, la mayor superficie sembrada corresponde a los cereales, constituidos principalmente por los cultivos de maíz y arroz y le siguen los cultivos tropicales (café y caña de azúcar). Igualmente, los datos

del tabla II.1.1 indican que la agricultura solo corresponde a 1,5 millones de ha del total de tierras destinadas a la actividad agrícola, las cuales también incluyen a la ganadería.

Según el Plan Nacional de Agricultura de Riego y Saneamiento de Tierras (PLANARSAT, 2015), los estudios previos señalan que aproximadamente el 45% de la superficie nacional es potencialmente utilizable para usos agrícolas diversos. Estos usos comprenden agricultura vegetal, incluida el uso agroforestal, agricultura animal, agricultura mixta: agrícola – animal, forestal – animal, agrícola - forestal – animal. Sólo un 7% posee condiciones potenciales para agricultura de riego (esto es 3,5 % de la superficie nacional). Un 15% del territorio son tierras saneables (INDER, 2014).

La superficie de Áreas Bajo Régimen de Administración Especial (ABRAE) para el 2011 comprendía 678.831 km². De esta superficie las figuras no compatibles con la actividad agrícola son: Reservas de Biósfera (10,5% de la superficie de las ABRAE), Monumentos Naturales (4,7%) y Parques Nacionales (14,3%) (INE, 2016).

Tabla II.1.1 Superficie sembrada y rendimiento de los principales rubros agrícolas de Venezuela en el año 2014.

Rubro	Cultivo	Superficie (ha)	Rendimiento (kg/ha)
Cereales	Maíz (<i>Zea mays</i> L.)	515.611	3.745
	Arroz (<i>Oriza sativa</i>)	238.401	5.354
	Sorgo (<i>Sorghum vulgare</i>)	70.983	2.211
Leguminosas	Frijol (<i>Vigna unguiculata</i>)	8.517	800
	Caraota (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.)	7.616	800
Textiles y Oleaginosas	Ajonjolí (<i>Sesamum indicum</i>)	56.227	456
	Palma Aceitera (<i>Elaeis guineensis</i>)	27.962	12.870
Raíces y Tubérculos	Yuca (<i>Manihot esculenta</i>)	26.292	12.573
	Papa (<i>Solanum tuberosum</i>)	25.757	19.032
Frutales	Plátano (<i>Musa spp.</i>)	45.405	11.002
	Cambur (<i>Musa spp.</i>)	28.171	15.291
	Naranja (<i>Citrus sinensis</i>)	22.164	18.085
Hortaliza	Cebolla (<i>Allium cepa</i>)	9.116	22.304
Cultivos Tropicales	Café (<i>Coffea spp.</i>)	168.426	340
	Caña de Azúcar (<i>Saccharum officinale</i>)	94.976	62.902
	Cacao (<i>Theobroma cacao</i> L.)	57.774	340

Fuente: FEDEAGRO, 2016.

Para el 2014, Venezuela contaba con un promedio de recursos hídricos a largo plazo de 805 km³/año, representando 42.594 m³/año per cápita. De un total de extracción de 22,63 km³ (año 2007), el sector agrícola extraía 16,71 km³ (2008); aunque las cifras no corresponden al mismo año, ello representa alrededor del 74% de la extracción (FAO, 2015).

Para el 2011, existían 107 embalses con una capacidad activa de aproximadamente 111 km³, de los cuales el 18% se destinaba al riego (MINAMB, 2011). La superficie total equipada para riego en el 2008 era de 10.550 km² (31,03% de la superficie cultivada); no obstante, para ese mismo año, la superficie realmente regada era de 9.788 km². Alrededor del 70% correspondía a riego superficial, 26% a riego por aspersión y 4% a riego localizado (FAO, 2015). Los principales cultivos irrigados en términos de su superficie son pastizales permanentes, arroz, cítricas, coco, musáceas, caña de azúcar y maíz (FAO, 2012).

Estas cifras parecen haber disminuido según PLANARSAT, ya que para el 2014, el total de superficie regada fue estimado en 7.453 km² (2.253 bajo riego público y 5.200 privado), y se proyectaba un incremento de 4.594 km² en la fase I de dicho plan, para el período 2015-2019. Con respecto al saneamiento, en el 2014 se refiere una superficie de 9.100 km² saneados, con un incremento proyectado para 2019 de alrededor de 4.490 km² (INDER, 2014).

PLANARSAT (2015), identificó 9 regiones estratégicas de desarrollo integral de agricultura de riego y saneamiento con énfasis en agricultura de riego: Llanos Orientales (Mesas de Anzoátegui-Monagas), Llanos Centrales (Calabozo-Tiznados), Llanos Occidentales (Ríos Tirgua-Pagüey), Faja Petrolífera del Orinoco, Cuenca del Unare, Cuencas Altas Andinas (Uribante-Mocotíes-Chama-Motatán-Cáus-Pocó), Cuenca Media del río Yaracuy, Planicies del Centro-Occidente de Falcón y Valle de Quíbor. Por otra parte, destaca 4 regiones con énfasis en saneamiento de tierras: Eje Elorza-Mantecal (Módulos de Apure), Sur del Lago de Maracaibo, Delta del río Orinoco y río Portuguesa Sur (INDER, 2014).

Por su ubicación geográfica, Venezuela posee características climáticas propias de la zona intertropical. La radiación solar recibida en superficie presenta un patrón típico bimodal, con valores promedio anuales que varían entre más de 21 MJ m²/d en algunas zonas costeras e insulares y de los Andes, hasta menores a 17 MJ m²/d en zonas de muy alta nubosidad.

La temperatura media mensual tiene un patrón bimodal y varía menos de 5°C a lo largo del año. Los promedios anuales de temperatura son modificados principalmente por la altura, la nubosidad, la cercanía al mar y factores locales, encontrándose desde zonas con temperaturas medias anuales superiores a 27°C, hasta zonas de glaciares en la cordillera Andina. En gran parte del país, las fluctuaciones de la temperatura a lo largo del día se encuentran alrededor de 10°C; estos valores disminuyen en zonas costeras, en áreas nubladas o en épocas en que la nubosidad es alta, y aumentan en zonas de valle y en las regiones de lluvia estacional durante su época seca.

Existe una gran diversidad de patrones de precipitación en lo concerniente a su magnitud y distribución a lo largo del año. En la zona Sur del país, el Delta del Orinoco, el Sur del Lago de

Maracaibo, Sierra de Perijá y en algunas áreas ubicadas a barlovento, la precipitación anual supera los 2000 mm, y en general llueve todo el año. Existen áreas con promedios de lluvia anual inferiores a 400 mm, ubicadas en la Depresión Lara-Falcón, la Goajira y la franja costera e insular. En esta última las precipitaciones se concentran entre diciembre y febrero. En el resto del país se distinguen zonas con magnitud y estacionalidad variable.

En cuanto a la demanda de agua (evapotranspiración de referencia), sus valores y distribución dependen del comportamiento de la radiación solar, la humedad del aire, el viento y la temperatura, pero en general son altos y menos variables interanualmente que los de la precipitación. La precipitación en conjunto con la demanda evaporativa, dan lugar a una gran diversidad de patrones en cuanto a la disponibilidad de agua. Dicha disponibilidad es el factor ambiental más crítico para cultivos y labores agrícolas. En particular, en aquellos lugares de lluvia estacional las fechas de inicio, término y duración de los períodos pre-húmedo, húmedo, post-húmedo y seco, muestran gran variabilidad espacial e interanual determinando incertidumbre y riesgo agrícola.

Las variaciones en los elementos climáticos aquí descritas, en conjunto con las variaciones de suelos, topografía e hidrología, son determinantes en la gran diversidad físico- ambiental presente en Venezuela y en su potencial para la producción agrícola.

Los principales problemas ambientales han sido identificados y jerarquizados en la propuesta del Plan Nacional del Ambiente 2011 (MINANB, 2011). Destacan tres problemas asociados a la actividad agrícola: el deterioro de la calidad y merma de la producción de agua y recursos naturales en cuencas hidrográficas, que a la vez fue identificado como el primer problema ambiental a nivel nacional; la contaminación de aguas superficiales y subterráneas, así como la sobreexplotación de acuíferos por actividades urbanas, agrícolas e industriales, considerado como segundo problema a nivel nacional; los conflictos de uso por ocupación anárquica del territorio en zonas urbanas, rurales, costeras y ABRAE se ubican como tercer problema. Las causas de los primeros dos problemas son: deforestación y tala incontrolada, incendios forestales, uso de prácticas agrícolas no sustentables, débil coordinación y compromiso interinstitucional y expansión de la frontera agrícola y urbana (MINAMB, 2011).

II.1.3 Variabilidad climática en Venezuela y su vinculación con la agricultura

Los estudios revisados reportan variaciones temporales y espaciales en la radiación, la temperatura y la precipitación. Las variaciones de un año a otro (variación interanual), revisten especial importancia.

Posso *et al.* (2014), estimaron montos de radiación solar para Venezuela a través de geoestadística y sistemas de información geográfica, y determinaron un potencial de energía solar factible de aprovechamiento, con valores superiores a 5.1 kWh/m²/día, en una extensión aproximada de 205.921,6 km² (20% del territorio), con máximos valores hacia la franja costera norte y región insular (5.8 a 7.3 kWh/m²), y diferentes regímenes de variabilidad temporal.

Bracho (2010) realizó estimaciones de la radiación solar diaria y mensual utilizando las ecuaciones de Ångstrom-Preščott (A-P) y Hargreaves-Samani (H-S), a partir de 10 años de registro de tres localidades venezolanas (El Tigre estado Anzoátegui, Araure estado Portuguesa y Biológica de los Llanos estado Guárico). Los coeficientes de regresión de A-P, variaron con las estaciones, los meses del año y el período de agrupación de los datos (valores del coeficiente a entre 0,19 y 0,37 y de b entre 0,21 y 0,5). Los de H-S fueron poco variables y similares a los reportados en la literatura (0,13 a 0,17). Las estimaciones A-P a partir de las series diarias mostraron mejor ajuste y consistencia en sus coeficientes.

Rodríguez *et al.* (2013), al analizar la variación espacio temporal de la precipitación del estado Anzoátegui en el período 1970-2000, observaron una disminución importante en la precipitación anual en la zona suroeste del estado (60% del área) y un incremento en la zona noreste (35% del área). Además, señalan cambios interanuales en la estacionalidad entre las décadas. No obstante, la publicación no refiere la metodología utilizada para definir el período lluvioso.

Pérez *et al.* (2009), describieron el comportamiento de las variables climáticas en la zona citrícola de Yumare, estado Yaracuy, ubicada a 78 m s.n.m., refiriendo que en esta zona la calidad de la fruta es alta. Para el período 2005 a 2007 observaron las temperaturas máximas más altas entre septiembre y octubre, (35°C - 37°C) y las mínimas menores en diciembre (17°C - 18°C), con promedio anual de 26,5°C y amplitud térmica diaria entre los 13,1°C y 16,9°C. En la zona llovió en los tres años un promedio de 1343 mm y tuvo 123 días lluviosos, siendo diciembre el mes más lluvioso con promedio de 211,4 mm y los meses con menor precipitación, junio y julio, con promedios menores a 50 mm. Los meses de déficit hídrico corresponden al período abril y julio-septiembre, y los de excedente entre noviembre a febrero. Esta información es una herramienta básica para la planificación del manejo agronómico, como fechas de aplicación de productos fitosanitarios en conocimiento de la fase fenológica que lo requiere, además apoya en la planificación del uso racional del agua, optimizando el tiempo y frecuencia de riego.

Caraballo *et al.* (2005), indican que en El Tigre, estado Anzoátegui, en 32 años de registro, el 60% de las precipitaciones anuales, se ubica en la categoría normal seca a normal húmeda (789 a 1260 mm), un 3% de los años fueron muy húmedos y ningún año muy seco. La localidad se caracteriza por un régimen de precipitación estacional unimodal con una estación lluviosa que se inicia con mayor

probabilidad en el tercer período de mayo y se extiende hasta mediados de octubre, con muy baja probabilidad de períodos de 10 días consecutivos sin lluvia en los meses de junio a septiembre y con lluvias mayores a 15 mm en un 75% de los casos. La estación seca abarca desde mediados de noviembre a abril, con mayor variabilidad.

Pérez & Soto (2004), analizaron la precipitación de 40 años de registro de la zona agrícola de Montalbán, estado Carabobo. Con la elaboración de los respectivos histogramas de frecuencia, clasificaron la lámina de agua caída en seis categorías: donde: muy seco $[(X - 3s) \text{ a } (X - 2s)]$, seco $[(X - 2s) \text{ a } (X - s)]$, normal a seco $[(X - s) \text{ a } (X)]$, normal húmedo $[(X) \text{ a } (X + s)]$, húmedo $[(X + s) \text{ a } (X + 2s)]$ y muy húmedo $[(X + 2s) \text{ a } (X + 3s)]$ donde X : es la media aritmética y s : desviación estándar de la muestra. La simetría de los datos de la lluvia mensual se realizó mediante el cálculo del índice de Simetría Yule. La precipitación promedio anual fue de 964,3 mm con un coeficiente de variación de 16,5% y los valores anuales variaron entre 624 mm (2001) y 1 268 mm (1969), con una amplitud de 644 mm. El 2001 fue muy seco y ningún año fue muy húmedo. Su régimen es estacional unimodal con categoría intermedia. Según el índice de Yule los meses con asimetría negativa fueron marzo-abril-mayo y octubre. La mayoría de los valores extremos de sequía se presentaron en los últimos cinco años. Reportan que la distribución y magnitud de las precipitaciones en la zona de Montalbán no permiten conseguir rendimientos óptimos en naranja y café sin riego complementario.

Algunos estudios tratan de determinar la existencia de tendencias en las series climatológicas. Con este fin, Lozada & Barboza (2007), para el registro 1941 al 2005 en Bramón, estado Táchira, analizaron la existencia de tendencias en las series de precipitación total anual, totales de los períodos seco (diciembre a marzo) y húmedo (abril a noviembre). Utilizaron las siguientes pruebas no paramétricas: prueba de correlación serial (Wald-Wolfowitz), prueba del coeficiente de Spearman, prueba de Mann-Kendall y la prueba de Pettit. Se identificó una tendencia estadísticamente significativa ($\alpha = 0,05$) de aumento de la precipitación total anual y del período húmedo en el lapso bajo estudio. La prueba de Pettit indicó un cambio abrupto significativo ($p < 0,05$) en el año 1965 para las series de lluvia anual y del período húmedo. Los autores reportan una tendencia alterna de los valores no significativos a significativos, lo que indica que la tendencia es aleatoria, influenciada por la variabilidad propia del elemento y de otros eventos climáticos, entre ellos el ENSO.

Méndez (1996) comparó a través de regresión simple, los valores medidos en la tina tipo A con nueve métodos de estimación de la evapotranspiración de referencia (ET_o), en ocho estaciones de los estados Portuguesa (6), Cojedes (1) y Barinas (1). Concluyó que la generalización de una única ecuación de regresión para la zona resulta inviable. Una vez eliminada la presencia de autocorrelación, las ecuaciones generadas para cada mes presentaron coeficientes de determinación entre 74 y 99%, mientras que las generadas para toda la zona y todo el año registraron valores entre 54 y 66%. El ajuste

fue mayor en los meses lluviosos, mientras que en los secos, las fórmulas subestiman los valores de ETo respecto a los estimados por la tina. Reporta mayor variabilidad interanual en los meses secos y de transición, particularmente el mes de abril.

La variabilidad de los elementos climáticos a su vez determina fluctuaciones importantes en variables de importancia agrícola y/o ambiental; entre ellas: las fechas de inicio y las duraciones de los períodos de disponibilidad hídrica y riesgos ambientales, tales como la sequía e inundaciones. En otros casos, esa variabilidad climática, en conjunto con otros factores, tales como el suelo, la geomorfología, topografía, vegetación y uso y manejo de la tierra, se interconectan de manera compleja para determinar riesgos ambientales, tales como el riesgo de desertificación.

Puche (1994) evaluó la disponibilidad de agua para agricultura de secano en localidades de los llanos Occidentales y Centrales de Venezuela. Para ello utilizó diversos índices, basados en la precipitación, la relación precipitación/evapotranspiración de referencia y el balance hídrico. Utilizando los registros diarios, se estimaron las probabilidades de ocurrencia de secuencias de días secos consecutivos a lo largo del año, así como de eventos climáticos que definen el inicio y el término de los períodos de disponibilidad de agua, con el fin de estimar los riesgos a lo largo de la estación de crecimiento.

Izquier (2002), realizó una caracterización del régimen hídrico en las estaciones experimentales de la Facultad de Agronomía (Samán Mocho, San Nicolás, El Laurel y Bajo Seco) de la UCV. Utilizó los métodos de Período de Crecimiento (PC) con datos de precipitación y evapotranspiración mensual, Balance Hídrico decadiario (BH) y acumulados móviles de siete días de precipitación y evapotranspiración (MOV). Hizo énfasis en la variabilidad interanual de las fechas de inicio, término y duración del período húmedo y la longitud de días secos consecutivos. Concluye que el uso de promedios mensuales para caracterizar la disponibilidad hídrica oculta la variabilidad interanual de la precipitación, así como, las irregularidades en la distribución de la lluvia que ocasionan períodos secos o anegamientos dentro del mes. El autor, encontró que las mayores amplitudes de fechas de inicio y término de las condiciones de disponibilidad de agua, se registraron en los lugares con estacionalidad de precipitación menos marcada (Bajo Seco y El Laurel), con amplitudes en las fechas de inicio del período húmedo entre 2 y 5 meses, y en las de término, entre 3 y 6 meses. Los lugares con estacionalidad de precipitación más marcada (Samán Mocho y San Nicolás) presentaron amplitudes de inicio y término del período húmedo entre 2 y 3 meses. Estas variaciones de un año a otro generan incertidumbre al momento de la toma de decisiones agrícolas. Izquier (2002) reporta que las diferencias entre los métodos utilizados; el método MOV siempre arrojó inicios tempranos del período húmedo, respecto a PC y BH, estos últimos con fechas de inicio muy cercanas. Las fechas de término del período húmedo siempre fueron más tempranas con el método de PC, seguidas por el método de BH y finalmente con los

MOV. Para fines de cultivos recomienda el uso del método de BH ya que muestra las condiciones más reales de disponibilidad de humedad. Para evaluar labores agrícolas, son adecuadas las fechas obtenidas por los métodos de PC y MOV.

Flores *et al.* (2010), definieron áreas ambientalmente sensibles a la desertificación en una microcuenca del Estado Guárico. Para ello, agruparon indicadores en cuatro cualidades que definen la calidad del suelo, clima, vegetación y manejo. La calidad del clima fue evaluada de acuerdo con la cantidad de lluvia y con un índice de aridez dependiente de la lluvia y la temperatura. Concluyen que, en el caso particular de la microcuenca, el clima tiene bajo riesgo de desertificación debido a su alta precipitación anual (1465 mm anuales) y al bajo índice de aridez obtenido (menor a 0.5). No obstante, destacan que las altas pendientes y las clases texturales determinan una posible restricción del contenido de humedad, al favorecer la escorrentía superficial y el incremento del riesgo de incendio, especialmente en las áreas de pastos naturales. La mayor parte de la microcuenca (69,2%), presenta sensibilidad crítica a la desertificación, mientras que en el resto existe una condición de fragilidad debido a las altas pendientes y a un uso y manejo inadecuado.

Mendoza & Puche (2007), utilizaron el índice Deciles y el Índice de Precipitación Estandarizada (SPI) con datos de precipitación de Venezuela agrupados en tres períodos (mensual, trimestral y anual), en 64 estaciones al norte del Orinoco con un período común de registro de 49 años (1950-1998) y en 18 estaciones al sur con período de registro de 30 años (1969-1998). Para cada índice y período de agrupación se determinó el porcentaje de estaciones con sequía (PE) y para los años de gran PE, se realizaron mapas para detectar el patrón espacial de las áreas afectadas por sequía. El PE varía según el índice y el período de agrupación. El índice Deciles arroja mayor cantidad de casos y por ello mayor PE que el SPI. El año 1973 fue el único que presentó gran PE para todos los períodos de agrupación en ambos índices. No se detectó un patrón en el PE a lo largo de ese año.

González (2010), aplicó la metodología propuesta por MCKee *et al.* (1993) en la evaluación de la sequía hidrológica en los sectores medio (Cuenca Canaima) y alto (Cuenca Aripichi) del río Caroní. Partiendo de más de 20 años de registros de precipitación y caudal, estimó el índice de precipitación estandarizada (SPI) para varios períodos de agrupación de los datos, y desarrolló un indicador denominado Índice de Caudal Estandarizado (ICE) para un período de agrupación mensual. A partir de ambos índices se determinaron los eventos de sequía en su magnitud y duración, además se determinó la correlación entre dichos índices. Se señala que los caudales medios mensuales, se ajustaron adecuadamente a la función de probabilidad Gamma. No se encontró relación entre la magnitud de los eventos de sequía y su duración. A medida que aumenta el período de agrupación para el cálculo del SPI, disminuyen los eventos de sequía y aumentan sus magnitudes. En ambas cuencas hubo relación entre los índices, y ésta varió con la cuenca y el período de agrupación. La cuenca Aripichi presentó el

mayor grado de asociación, particularmente con los SPI de la agrupación de 9 meses. La cuenca Canaima presentó la mayor asociación con la agrupación semestral y no presentó asociación con los SPI anuales.

Hernández (2008), determinó la vulnerabilidad a la sequía meteorológica en las zonas secas de los Llanos Centro Orientales, mediante el Índice de Precipitación Estandarizada (SPI), con el objetivo de contribuir al diseño de estrategias sobre el manejo integral del recurso hídrico. Se caracterizó el inicio, intensidad, duración, magnitud y cobertura espacial. Se determinó además el impacto que varios eventos de sequía produjeron sobre los recursos hídricos existentes en la zona, a través de los niveles de los embalses y aguas subterráneas. Otro aporte obtenido fue la estimación de los umbrales críticos mensuales de precipitación que indican sequía, información base y plataforma para el establecimiento futuro de Sistemas de Alerta Temprana, útiles para detectar inicio de sequías y para el manejo de los recursos hídricos

Quiroz *et al.* (2016), evaluaron a través del índice de precipitación estandarizada (SPI), las características más relevantes de las sequías severas que afectaron las cuencas aportantes de 32 grandes embalses entre 1960 y 2005. El patrón subyacente que configura las sequías en el contexto espacio-temporal se identificó aplicando un análisis por conglomerados. Entre los resultados, destacan: a) las sequías son eventos relativamente frecuentes que se alternan con períodos predominantemente húmedos; b) los grandes embalses se agrupan en ocho subregiones geográficas de acuerdo a su exposición a las sequías; c) el inicio y la finalización de las sequías en las cuencas aportantes pueden ser abruptos o graduales en el tiempo.

II.1.4 Variabilidad climática y su impacto agrícola

El clima afecta la actividad agrícola de muy diversas maneras: influye directamente en cultivos y animales, determina la disponibilidad de forrajes, actúa sobre los ciclos biológicos de otras especies tales como polinizadores y plagas, determina la oportunidad de realizar labores agrícolas y afecta la calidad de los productos agrícolas, entre otros. En las condiciones tropicales, la disponibilidad de agua es el factor preponderante; no obstante, la radiación y la temperatura tienen también un efecto importante.

Díaz (2000), evaluó las fórmulas de Ångstrom-Preščött (A-P) y Hargreaves-Samani (H-S), para estimar la radiación solar diaria, y analizó su impacto en los rendimientos de maíz simulados con el modelo BEANGRO del sistema DSSAT. Utilizó 18 años de registros de Maracay (Estación Base Sucre). H-S sobreestimó considerablemente los valores durante la época seca y mostró mayor variabilidad en los errores relativos (7,8 a 31,0 %) respecto a los datos medidos. En el caso de A-P, reporta errores

entre 10,4 y 20,8% con el modelo anual y 11,4 y 20,2% con el mensual. Los rendimientos obtenidos con los valores de radiación estimados por A-P, reportan tendencias similares (entre 1314 y 2539 kg/ha con los datos provenientes del modelo anual y 1505 a 2164 kg/ha con el mensual). Con H-S, los rendimientos fueron sobrestimados, arrojando valores entre 1533 y 3167kg/ha.

Puche *et al.* (2012) señalaron diferencias significativas entre ciclos y cultivares, en las variables asociadas a la fenología floral. Los acumulados del número de días (DFrío) con temperaturas mínimas por debajo de un umbral (21°C, 20°C, 19°C, 18°C y 17°C), mostraron un patrón estacional y variabilidad de año a año. En los ciclos más cálidos, 'Haden' no presentó relación entre DFrío y el número de días al inicio de la floración DIF, mientras que en los ciclos más frescos se observó una relación lineal. Esta relación lineal se observó también en Edward, excepto en el ciclo 5; por ello este cultivar parece ser más sensible a variaciones de la temperatura mínima.

Madriz *et al.* (2013) determinaron el tiempo térmico o grados días (GD) necesarios para alcanzar cada fase de desarrollo de 10 cultivares de caraota en ensayos realizados en Sanare y Palo Verde, estado Lara, y Samán Mocho y Montalbán, estado Carabobo, Venezuela, en distintas épocas de siembra. Reportaron variación entre localidades y cultivares, tanto en su duración cronológica (días después de la siembra, dds) como térmica (entre 60 y 85,3 dds y entre 785,5 y 1 069,3GD hasta la madurez). Aunque se esperaría que las duraciones térmicas sean específicas para cada cultivar y muestren poca variación entre localidades o épocas de siembra, se observaron coeficientes de variación entre 1,4 y 3,6%, influidos por el manejo del cultivo (labranza, riego), problemas de suelo que afectaron la germinación y el intervalo entre evaluaciones. Se encontró asociación positiva entre el peso seco total de plantas y la duración térmica.

Bracho *et al.* (2010), en un estudio de requerimientos de unidades de calor de tres cultivares locales de arveja y cuatro de frijol, en el municipio Rafael Urdaneta del Estado Táchira, destacan que la arveja amarilla y la verde mantuvieron un comportamiento similar en la fase vegetativa y difirieron en las fases restantes. Señalan que estas diferencias son importantes para establecer planes de manejo y zonificación de estos cultivos.

Quintana (2015) evaluó el número de horas frío para cultivares de durazno (*Prunus persica*) en la estación Bajo Seco de la Facultad de Agronomía de la UCV. Partiendo de bandas semanales de termohigrógrafo (1996 a 2004), consideró tres umbrales: horas menores o iguales a 7°C, 10°C y 13°C. La ocurrencia de horas frío fue sensible al umbral seleccionado y presentó una importante variación entre los diferentes años evaluados. Esto puede crear incertidumbre y ser un factor de riesgo agrícola en zonas tropicales, ya que, en los frutales caducifolios originarios de zonas templadas, el no cubrir su

demanda de frío, conduce a un letargo prolongado o foliación retardada caracterizado por: alargamiento del período de reposo, aborto de yemas florales y embriones, floración irregular, entre otros.

El estudio de Quintana (2015) mostró que en sólo dos años ocurrieron horas frío iguales o menores a 7°C y sus acumulados fueron menores a tres horas. Para el umbral de 10°C las horas frío se concentran entre diciembre y abril. Para 13°C, las horas frío se concentraron entre noviembre y abril. En cuanto a los acumulados por ciclo, para el umbral de 10°C, se acumularon muy pocas horas frío, indicando que cultivares que exijan este umbral no cubren su demanda de frío en Bajo Seco. En contraste, las horas frío para el umbral de 13°C, en la mayor parte de los años, satisface los requerimientos de cultivares de baja demanda de frío reportados por la literatura.

Pérez *et al.* (2012), evaluaron el régimen hídrico como determinante ambiental en la iniciación floral de los cultivares de mango (*Mangifera indica* L.), Haden y Edward en Maracay, durante el período (1980-2008). Encontraron que en el período de 12 semanas que precedieron la ocurrencia de la expresión visual de la floración, no ocurrieron déficits severos. Concluyen que la iniciación floral no es respuesta directa de déficit hídrico; este factor complementa la expresión floral, moldeando su inicio y duración de acuerdo a la característica varietal y condición del individuo.

Avilán *et al.* (2009), determinaron el comportamiento fenológico de la raza antillana de aguacate en la región centro-norte costera de Venezuela, dentro del ciclo anual de producción (última semana de julio a penúltima semana del año siguiente). En 3 ciclos anuales de producción comprendidos entre el 2002 y el 2005, identificaron tres flujos de crecimiento, el inicio de la floración (IF) ocurrió entre las semanas 16 a la 21 correspondientes a los meses finales del año (noviembre y diciembre). La duración de la floración fue muy variable, desde 77 días en el ciclo 1 hasta 133 días en el ciclo 2 y la máxima intensidad de floración se presentó entre las semanas 25 a 30 (enero-febrero). Se evaluaron, en los 3 ciclos anuales, la temperatura máxima y mínima diaria. Con esta información se determinó para cada mes, el número de días con temperaturas iguales o inferiores a los 23, 22, 21, 20, 19, 18, 17, 16 y 15°C. Las temperaturas mínimas de 20°C y 19°C fueron las de mayor frecuencia en los 3 meses que precedieron IF, presentando diferencias significativas entre los umbrales. En los 3 meses antes del IF hubo una abundante precipitación, desde 329 hasta 557,5 mm. El período de fructificación varió de 4,2 a 7 meses de duración.

En el caso de los híbridos guatemalteca x antillana, Avilán *et al.* (2005), en la región centro-norte costera de Venezuela, observaron que el crecimiento se presentó en los meses de mayor precipitación (agosto a octubre y mayo) y el número de flujos varió de 2 a 4, acompañando o antecedendo a las floraciones. El inicio de la floración estuvo asociado a mayor frecuencia de temperaturas mínimas de 20°C y 19°C; y varió en los cuatro ciclos anuales de producción comprendidos entre el 2001 y el 2005.

La duración de la floración fue variable (70 hasta 175 días) y su máxima intensidad ocurrió en las semanas 28 a 35 (febrero-marzo). La floración estuvo presente con abundantes precipitaciones o en ausencia de las mismas. La fructificación se inició cuatro a cinco semanas después del comienzo de las floraciones, con 6 a 6,5 meses de duración.

Avilan *et al.* (2007), observaron un comportamiento distinto en los híbridos de la raza mexicana que crecen en la misma región. Los flujos de crecimiento variaron de 3 a 5, con ocurrencia asociada a los meses de mayor precipitación (abril a noviembre), y el primer flujo de crecimiento del ciclo, antecedió y/o acompañó a la floración. El inicio de la floración ocurrió a finales del año (septiembre-noviembre) y se caracterizó por su larga extensión (20 a 29 semanas) y baja intensidad (25 a 50%), como consecuencia del régimen térmico presente durante el período de inducción floral (Pif), caracterizado por temperaturas máximas diarias altas (30°C a 32°C) y escasa frecuencia de días con temperaturas bajas (<19°C). La precipitación acumulada durante el Pif varió entre 375,8 y 567,6 mm, y estuvo ausente de manera parcial y/o total durante la floración. El período de fructificación fue de alrededor de 4 meses de duración. Concluyen que las características ecológicas de la localidad ubicada a una elevación de 450 m s.n.m., no fueron las más propicias para las exigencias de esta raza.

León *et al.* (2009), en un ensayo desde marzo 2005 a diciembre 2007 en Yumare, refieren que la fenología de la naranja “Valencia” difiere con el patrón utilizado. Los tres patrones estudiados presentaron dos flujos de brotación y floración en el año, el primero entre marzo y mayo y el segundo entre agosto y septiembre, siendo el primero el más importante en cuanto a intensidad y duración. “Valencia” sobre mandarina “Cleopatra” presentó las más altas intensidades de brotación en el primer flujo (41%) y de floración en el primer y segundo flujo (51% y 36%, respectivamente). No obstante, inició la floración más tarde que “Citrumelo” y “Amblicarpa”. Los lapsos de reposo relativo ocurrieron de diciembre a enero y junio a julio, con una duración de 60 días. Tres meses antes del primer flujo de floración, las condiciones climáticas fueron variables, presentándose tanto estrés hídrico ($IH < 1$) como buena disponibilidad de agua (IH entre 1 y 2), con amplitudes térmicas diarias entre 8,4°C y 9,3°C, y humedad relativa promedio de 89%. Las condiciones climáticas previas al segundo flujo de floración fueron: índice de humedad inferior a 1 (0,2 - 0,86), temperatura máxima diaria de 34,2°C y mínima de 23,4°C, amplitud térmica en el período de 10,7°C y humedad relativa de 88%.

Pérez *et al.* (2001), caracterizaron la fenología del mango y la acumulación de grados-día bajo un sistema de alta densidad de población en Maracay. Al comparar los cultivares, se observa que cada variedad presenta un patrón de fenofase diferente. El tratamiento con Poda +Paclobutrazol adelantó el inicio de la floración en los cultivares

Avilán *et al.* (2002), establecieron el inicio de la floración del Edward, Haden y otros 129 cultivares de mango de la colección del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias (CENIAP-INIA), Maracay, y lo relacionaron con los regímenes de precipitación y temperatura que le precedieron durante los ciclos anuales de producción comprendidos entre 1998 y el 2001. Los resultados indicaron que el inicio de la floración está asociado con el incremento de la frecuencia de temperaturas nocturnas iguales o menores a 20°C en los 30 días precedentes. Independientemente del lugar de origen o procedencia de los cultivares estudiados, se observó diferencias entre cultivares, en cuanto a sus requerimientos del número de días con temperaturas bajas. Durante su ocurrencia la presencia de un período seco o de escasa precipitación favoreció el proceso.

Pérez *et al.* (2004), describieron la fenología de tres cultivares de cítricos: “Criollo-Montero”, “Caracara”, mutación de “*Washington Navel*”, ambos sobre el patrón “Carrizo”; y lima “Tahití” sobre el patrón “Volkameriana”, en el Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias (CENIAP-INIA), Maracay, durante tres ciclos anuales de producción. “Criollo-Montero” y “Caracara” presentaron sus máximas intensidades de brotación en época seca, con temperatura máxima de 32,2°C y mínima de 15,2°C, mientras que lima “Tahití” a entrada y en plena época de lluvia, con temperatura máxima de 30°C y mínima de 19,4°C. La máxima intensidad de floración se presentó entre marzo y abril con 39% en “Caracara” y 28% para “Criollo-Montero” y lima “Tahití”.

Con el objetivo de determinar la variabilidad interanual de características importantes de la disponibilidad de agua, se han utilizado las metodologías de Franquín (1987) y Reddy (1983) en diversas localidades de interés agrícola. Lozada (1987) seleccionó tres localidades del estado Guárico, y según Franquín (1987), encontró que en las tres estaciones hay más del 90% de probabilidad de contar con períodos húmedos superiores a 80 días. En todas las estaciones se presenta una entrada brusca de dicho período. La amplitud de las curvas sigmoideas indica que la fecha de inicio del período húmedo tiene alta variabilidad interanual, con amplitudes promedio de 95 días. En el caso de Reddy (1983), encontró que la duración del período efectivamente lluvioso (G) varía entre 14,3 y 21,6 semanas, con coeficientes de variación inferiores al 30%. El número de semanas secas dentro del período húmedo (D) tuvo un promedio de 4 semanas y el de semanas muy húmedas (W) es superior a 7 semanas en Tucupido y Guanapito y de 4,9 en Valle La Pascua. Sólo Valle La Pascua presenta un riesgo de que se presente un G inferior a 5 semanas (6%). 5 semanas es el valor mínimo de G considerado por Reddy para la cosecha exitosa de un cultivo de 98 días.

En tres estaciones de la franja maicera del estado Yaracuy, Guillory (1987) encontró que de acuerdo con Franquín (1987) la duración del período húmedo al 75% de probabilidad fue de 4,5 meses en San Felipe, 1,8 meses en Guarabao y 2,5 meses en Central Matilde. Por su parte, el método de Reddy (1983) arrojó para San Felipe, un valor de G, de 8,5 meses en promedio (CV=14,2%), con un

II.1 promedio de D de 8,9 semanas secas y de W de 14. Para Guarabao, el promedio de G duró 5,9 meses (CV=17,4%) con D de 7,6 semanas y W de 7,3 semanas. En Central Matilde G fue de 6,2 meses (CV 26,2%) con D de 7,5 semanas y W de 8 para Central Matilde.

López (1994), utilizando el método de Reddy (1983) en Turén, estado Portuguesa, encontró que el promedio de G fue de siete meses y tres semanas, con un coeficiente de variación de 9,9%. Su inicio ocurre en promedio la última semana de abril (ds=2,1 semanas) y en el 75% de los casos ha comenzado la primera de mayo. La finalización promedio se ubica en la semana del 19 al 25 de noviembre (ds=2,3 semanas) y en el 75% de los años ha finalizado para el 9 de diciembre. En el 58% de los años no se presenta la condición definida como semana de inicio de la preparación de suelos. En el 42% restante se inició entre el 9 y el 15 de abril (ds=1,6 semanas) La diferencia entre estas fechas y la de inicio de G, indica que el inicio de lluvias ocurre de modo abrupto generando dificultades para el trabajo del terreno. El promedio de D fue de 4,7 semanas (ds=1,9 semanas) y el de W, fue de 18,3 semanas (ds=3,3 semanas).

García *et al.* (2002), destacan que la alta variabilidad interanual de las precipitaciones en la zona intertropical, crea la necesidad de planificar una agricultura de secano orientada hacia la selección de las mejores fechas de plantación a fin de garantizar rendimientos económicos y minimizar riesgos. En dos zonas de lluvia estacional (El Pao y Macapo) del estado Cojedes, evaluaron dos estrategias de fechas de plantación de yuca de secano, una al inicio del período de lluvia y otra al término del mismo. Utilizaron el modelo CROPSIM, DSSAT v 3.0, y con información local de clima, suelo y manejo, evaluaron montos, estabilidad de rendimientos y oportunidad de plantación para las fechas seleccionadas. Encuestas a los agricultores permitieron definir criterios y comparar resultados. En ambas zonas, los mayores rendimientos simulados se obtuvieron para entrada de lluvias. La estabilidad de los rendimientos difirió entre estrategias de plantación, fechas y localidades. En ambos lugares existe una mayor oportunidad para realizar labores de plantación en salida de lluvias.

Álvarez (2003), evaluó el modelo CERES-rice del sistema DSSAT en fincas arroceras del municipio Guanare del estado Portuguesa, con ensayos de campo realizados durante el período de lluvias 1997 y 2000 y el seco 2001. Hubo una simulación adecuada de la duración de las principales etapas de desarrollo, del rendimiento en grano, la biomasa aérea a la cosecha, el número de panículas por metro cuadrado, el peso de grano y la evolución de la biomasa aérea en los tres ciclos, así como del índice de área foliar y el paso de las láminas foliares durante la época lluviosa. El modelo subestimó la producción de raíces, el número de hojas/planta, peso de vainas foliares y tallos. El número de granos por panícula fue subestimado por el modelo para el período de lluvias del 2000, ya que presentó valores anormalmente altos en campo.

Ferraroto & García (2009), realizaron un ensayo en invernadero para evaluar el efecto del déficit hídrico sobre la acumulación de biomasa y nitrógeno foliar en plantas de soya del cultivar FP90-6103 en estadios vegetativos, y determinar si la inoculación con micorrizas (*Bradyrhizobium japonicum*), contrarresta el efecto negativo del déficit hídrico. Concluyeron que dicha inoculación favoreció la acumulación de biomasa total por planta, y el área foliar hasta 23 días después de la siembra, pero no contribuyó con la disminución de los efectos negativos del déficit hídrico en estadios reproductivos. Establecieron que, durante el período de llenado de las vainas, una restricción del 60% del agua requerida afectó significativamente la acumulación de biomasa y el contenido de nitrógeno en semillas

Ferraroto (2010) determinó el efecto del déficit hídrico sobre dos especies de amaranto: la pira (*Amaranthus dubius* Mart. ex Tell.) y el amaranto (*Amaranthus cruentus* L.). Estas especies son consideradas promisorias para su cultivo por su capacidad para adaptarse a condiciones de estrés hídrico en regiones semiáridas. *A. dubius* fue más afectada por la suspensión del riego a los 25 días después de la siembra, mostrando reducción significativa ($P < 0.05$), del área foliar y la biomasa del sistema radical más tempranamente que *A. cruentus*, así como un acortamiento de su ciclo. Además, la primera especie, incrementó su tasa de asimilación neta como estrategia a condiciones de déficit hídrico. En este ensayo la relación peso seco de raíces /peso del vástago no fue afectada, a pesar de que otros estudios reportan lo contrario.

Con el fin de generar información para la toma de decisiones a nivel de agricultores y entes gubernamentales, Monasterio *et al.* (2011), estudiaron la influencia del fenómeno El Niño/Oscilación del Sur (ENSO), sobre la cantidad y distribución de la precipitación en la zona de El Rodeo, municipio Peña, estado Yaracuy y su relación con el rendimiento del maíz, durante el período 2000-2009. Concluyeron que, en los 60 años de registros, la precipitación promedio en los años sin evento fue bimodal con picos en junio y octubre, mientras que en eventos El Niño y la Niña, fue unimodal con picos en julio en el primer caso y en junio en el segundo. Además, refieren mayor precipitación en los años Niño, lo cual contrasta con otros resultados reportados en el país. En cuanto a la relación con los rendimientos de maíz, la reducción por estrés, en los diez años analizados, estuvo principalmente asociada a lo ocurrido durante las fases vegetativas y de floración, independientemente de la cantidad de precipitación y de la fase del ENSO. El número de granos por mazorca y el número de mazorcas por planta, son los componentes de la producción de grano más afectados por el déficit de agua durante los períodos críticos.

Zambrano *et al.* (2010), evaluaron algunos parámetros asociados con los compuestos de aroma y sabor del cacao, *Theobroma cacao* L., Criollo Merideño (CM), cultivado bajo dos condiciones edafoclimáticas en el Estado Mérida. Encontraron que el CM en San Juan de Lagunillas presentó menor acidez titulable, al inicio del secado y de acidez volátil, al final de la fermentación en comparación con el

CM en Zea. Concluyen que aunque los cacaos sean genéticamente iguales, las condiciones edafoclimáticas determinan cambios en el comportamiento químico de los precursores de aroma y sabor, tales como, el contenido de grasa, azúcares totales, pirazinas, cafeína y teobromina.

Zoppi (2002), evaluó las posibilidades de uso del modelo FAO (Frère y Popov, 1980), para el seguimiento y pronóstico agrometeorológico de cosecha, en la Colonia Agrícola de Turén. Ello incluyó: evaluar la capacidad del modelo para predecir el rendimiento; identificar la información edáfica, climática y del cultivo requerida; diseñar esquemas sencillos para su obtención y evaluar la aceptación del modelo por los agricultores. En una finca con registros (1994-2001) de precipitación, fechas de siembra, rendimientos e información de suelos, para cada grupo de fechas de siembra se calcularon los balances decadiarios y el índice de satisfacción hídrica (I) de acuerdo con el modelo FAO.

Los valores de I en la época de floración (decadiario 7, D7) y al término del ciclo de cultivo (decadiario 14), permitieron examinar las relaciones entre el grado de satisfacción hídrica y el rendimiento final, mediante análisis de correlación y regresión. I, conjuntamente con los déficit y excesos de agua en D7, explicaron 30% de la variación de los rendimientos. Esta predicción temprana, permitiría apoyar la toma de decisiones sobre labores, comercialización y almacenamiento. Los productores mostraron receptividad ante la implementación de un sistema de pronóstico de cosecha y se disponía para el 2002, de infraestructura y logística; no obstante, de las 32 fincas encuestadas, sólo una contaba con la información mínima requerida.

Sáez (2002), examinó la relación entre los niveles de severidad del hongo sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) en cultivos de plátano (*Musa sp* AAB) en la estación experimental Chama (INIA), Sur del Lago de Maracaibo. En intervalos de 10 a 15 días, determinó la severidad de la enfermedad por medio del promedio ponderado de infección (PPI). Estos valores fueron asociados mediante análisis de correlación y regresión y análisis factorial, con diversos índices climáticos basados en la temperatura y la humedad relativa medidas en la parcela (acumulados simples de distintos intervalos previos a las evaluaciones de la enfermedad y promedios de diferentes lapsos del día). Se encontró un coeficiente de regresión ajustado de 76,95% entre el PPI y 14 índices climáticos, entre los que destacan las temperaturas del aire de la tarde, la humedad relativa del día y la noche y su oscilación y los eventos sin precipitación. El número de eventos sin precipitación fue el índice que mejor describió la variabilidad del PPI.

En un estudio preliminar de vigilancia y pronóstico para sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet), en el cultivo de plátano (*Musa* AAB cv Hartón), en Macagua-Jurimiquire, estado Yaracuy, Hernández *et al.* (2005), correlacionaron el progreso de la enfermedad con los registros diarios (junio 1998- diciembre 2000) de precipitación, humedad relativa, temperaturas máxima y mínima del aire,

evaporación y nubosidad. Encontraron que el comportamiento de la enfermedad dependió de las condiciones ambientales, mostrando variaciones durante el año y entre años. La mayor incidencia y severidad de la enfermedad ocurrió en septiembre y octubre de 1998; en enero, mayo, agosto y octubre de 1999; y en enero, septiembre, octubre y diciembre de 2000. Al aumentar la severidad, disminuyó la producción de hojas. El 33,32% del comportamiento de la enfermedad es explicado por los valores acumulados de las variables como la nubosidad, temperatura mínima, humedad relativa y evaporación durante las seis semanas consecutivas previas a la evaluación de la enfermedad en campo. El bajo porcentaje de explicación se atribuye a que los datos climáticos no procedían de la parcela sino de una estación ubicada a 10 km.

Labarca *et al.* (2007), determinaron el efecto de las condiciones climáticas (diciembre 2002 a noviembre 2003) sobre la disponibilidad de inflorescencias; y de éstas, sobre los niveles poblacionales de los polinizadores en un cultivo de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacquin), en el sur del lago de Maracaibo. Destacan que la polinización es de vital importancia en la producción comercial del cultivo, pues determina su producción de aceite y almendra. Encontraron que el número de insectos polinizadores depende del número de inflorescencias que se encuentran en el campo. Sugieren que el aumento de la precipitación de marzo (7mm) a abril (88 mm) aceleró la apertura de las inflorescencias. En contraste, no se apreció una tendencia clara de la influencia de la temperatura.

En cuanto a la producción animal, Sánchez & Martínez (2010), evaluaron el efecto de finca, año y época de nacimiento, número de partos de la madre, grupo racial, y sus interacciones, sobre la edad al primer parto en vacas doble propósito en dos fincas localizadas en una zona de bosque húmedo de Trujillo. Obtuvieron un promedio de 3,6 meses y encontraron diferencias entre fincas, entre años y entre épocas. Atribuyen las diferencias a condiciones climáticas y a las prácticas de manejo particulares de cada finca. Por otra parte, la interacción finca año muestra que las diferencias no fueron constantes a través de los años. En cuanto a la época de nacimiento reportan diferencias entre 0,6 y 1,5 meses entre las cuatro épocas del año (dos lluviosas y dos secas), y lo atribuyen a las diferencias en la disponibilidad de alimentos y de exceso de humedad. Estas variaciones tienen importancia económica.

Rodríguez *et al.* (2010), estudiaron el efecto del hato (H), año de nacimiento (AN), época de nacimiento (EN), sexo, edad de la madre al parto y sus interacciones, sobre el peso a 18 meses de edad, de vacunos Brahman (usado como indicador del peso de venta de los animales) para el período de registro 1996-2004. Todos los efectos resultaron altamente significativos ($p < 0,01$), con excepción de EN y H x EN. En general no encontraron un patrón definido en la posición de los hatos en cuanto al peso de los animales en el período considerado, y lo atribuyen tanto a variaciones en las condiciones climáticas como a posibles variaciones en las decisiones gerenciales. Reportan que la disminución de peso en uno de los hatos posiblemente se debió a inundaciones. Con excepción del 2003, los animales

nacidos en época lluviosa fueron más pesados, no obstante, sólo en los años 2000 y 2004 dichas diferencias resultaron altamente significativas ($P < 0.01$). Se reporta que otros estudios en Venezuela arrojan resultados similares.

Torrellas (2009), propuso una metodología para determinar el riesgo de ocurrencia de mortalidad atribuible a elementos climáticos. Consideró los registros meteorológicos históricos de temperatura y humedad del aire (1980-2002); registros de mortalidad de 84 lotes productivos (1997-2002), y datos meteorológicos medidos en una unidad de producción de pollos de engorde ubicada en el sector Las Veras del estado Lara, durante el período 2004-2005. Destaca que el Índice Temperatura y Humedad (ITH) permitió detectar variaciones entre semanas calendario y determinar aquellas con mayores probabilidades de presentar singularidades climáticas perjudiciales para los pollos. Considerando los requerimientos térmicos reportados en la literatura, las condiciones medidas dentro del galpón y el efecto enfriador del viento, determinó el umbral de termoneutralidad en términos del ITH, para aves en tres períodos (22 a 28; 29 a 35 y 36 a 42 días de nacidos) en los lapsos diurno y nocturno. No encontró una relación lineal entre la mortalidad y el clima; no obstante, estableció un calendario avícola para la zona, de acuerdo con el ambiente térmico y presentó una propuesta aplicable a nivel de campo para reducir la incertidumbre del productor en relación con la mortalidad atribuible al clima, la cual se basa en un índice de estrés calórico relativo y en variables auxiliares.

Bracho (2005) caracterizó el régimen térmico de las estaciones experimentales de la Facultad de Agronomía de la UCV. Utilizó dos tipos de índices de temperatura: aquellos que describen al régimen térmico (temperatura máxima media, T_{max} , temperatura mínima media, T_{min} , temperatura media, T , amplitud térmica diaria, ATD, y amplitud térmica anual, ATA), e índices para diferentes aplicaciones agroambientales (Grados – día, Índice temperatura humedad, ITH, y Givoni), que permiten evaluar el efecto directo del régimen térmico sobre los cultivos, animales y seres humanos. El índice grados-día se aplicó para estimar la duración en días de una fase o del ciclo completo en cultivos representativos de cada estación, utilizando para ello las temperaturas bases y duraciones térmicas reportadas en la literatura y considerando que la fase o el ciclo comenzaba el primer día de cada mes. Se encontraron diferencias en la duración de las fases a lo largo del año, en Bajo Seco (1 mes, para la fase de yema a fructificación de durazno) en El Laurel 12 días (para la fase de germinación de café), en Samán Mocho (9 días, para el ciclo de maíz) y en San Nicolás (18 días, para el ciclo del sorgo). El ITH se determinó para tres condiciones diarias: 6:00a.m., 2:00p.m. y la promedio, y luego se aplicaron umbrales y ecuaciones de regresión, reportadas en la literatura, para estimar el efecto del ITH sobre índices reproductivos y productivos en animales domésticos. Para la condición de las 6:00 a.m., todas las estaciones estuvieron por debajo del umbral de 70, mientras que para la condición promedio sólo las estaciones Bajo Seco y El Laurel, se encontraron por debajo de este umbral. En la condición de las

2:00p.m., se observó que El Laurel, Samán Mocho y San Nicolás, presentan condiciones de estrés por calor durante todo el año, con valores que superan los umbrales de Alerta, Peligro, e inclusive Emergencia.

El índice de Givoni, determinado en las condiciones: 6:00 a.m., 2:00 p.m. y promedio, permitió conocer que todas las estaciones presentan potencialidad para llegar al confort térmico, sin necesidad de utilizar procesos de acondicionamiento artificiales (aire acondicionado o calefacción).

II.1.5 Posibles Impactos del cambio climático en agricultura, estrategias de adaptación y mitigación

Ovalles *et al.* (2008), señalan que el 94,3% de la agricultura venezolana es de secano, lo que la hace vulnerable al cambio climático, sobre todo si se espera que la precipitación y el número de meses húmedos disminuyan en varias zonas del país. Realizaron una evaluación de tierras (FAO, 1993) de las tres grandes áreas geográficas de mayor afectación: Oriental, Centro-Occidente y los Andes y Cuenca del Lago de Maracaibo, identificadas por Ovalles *et al.* (2005). La evaluación se concentró en la adaptabilidad climática que pueden tener los tipos de utilización de la tierra más representativos de cada zona, en la Unidades de Tierra (UT) definidas de acuerdo a los cambios de clima estimados por Martelo (2004). Los resultados indican que, en la zona de Oriente, desaparecerán zonas húmedas a expensas de zonas subhúmedas, y gran parte de las zonas subhúmedas se convertirán en zonas secas. En cuanto a la zona Centro-Occidental se incrementarán las zonas secas y los problemas de erosión. En la zona Occidental se estima que la zona se convierta en subhúmeda en su mayor parte. En general, se estima que los usos con cultivos permanentes, sufrirán el mayor grado de afectación en las áreas más impactadas por el cambio climático. Los cambios no parecen ser tan drásticos para el caso de la ganadería y los cultivos anuales; aunque el efecto negativo sobre los pastos incidirá en la alimentación animal.

A continuación se presenta una revisión cronológica sobre evidencias del impacto del cambio climático en la agricultura, así como algunas estrategias de adaptación y mitigación, que pueden orientar la toma de decisiones en relación a la agricultura del país.

Maytin *et al.* (1995), simularon los impactos del cambio climático global y regional de incrementos en el efecto invernadero y en la deforestación de Amazonas, sobre la fenología y rendimientos de dos cultivares de maíz de grano en Venezuela (CENIAP PB-8 and OBREGON). Fueron seleccionadas las localidades de Turén, Barina y Yaritagua. Los escenarios asociados a los gases de efecto invernadero causaron una disminución en los rendimientos de todos los cultivares en las tres localidades. En contraste, los escenarios de deforestación produjeron pequeños cambios. Mediante análisis de sensibilidad, concluyeron que los incrementos de temperatura reducen los rendimientos al reducir la

duración de las fases fenológicas de ambos cultivares; particularmente, la reducción de la fase de llenado de grano tuvo el mayor efecto.

Los incrementos en la precipitación asociados al efecto invernadero, no mostraron influencia sobre los rendimientos, debido a que los sitios de estudio tuvieron precipitación adecuada y el modelo no simula correctamente los efectos negativos del exceso de agua ni la consecuente erosión del suelo y lavado de nutrientes en estas circunstancias. Los incrementos en la radiación solar en los escenarios de deforestación, compensaron la reducción debida a aumentos de temperatura. En los escenarios de efecto invernadero, la reducción en la insolación debida a un aumento de nubosidad, en conjunto con el incremento de temperatura, produce menos granos y granos más livianos.

Herrera *et al.* (2001), estudiaron las respuestas fotosintéticas a $[\text{CO}_2]$ elevadas, en cuatro especies xerófitas que crecen en Venezuela, para elucidar el efecto de estas concentraciones sobre la fotosíntesis y el uso de agua de especies que normalmente enfrentan déficits hídricos. La fotosíntesis aumentó alrededor de 3,5 veces y la $[\text{CO}_2]$ elevada retrasó la disminución de la tasa fotosintética en sequía. Dado que en muchos estudios se ha encontrado que el estímulo inicial de la fotosíntesis por una $[\text{CO}_2]$ elevada desaparece en el tiempo, debido a las limitaciones de sumidero de asimilados, se estudió el efecto de la $[\text{CO}_2]$ elevada sobre la fotosíntesis de plantas de yuca cultivadas sin limitaciones de suelo, encontrando que la tasa fotosintética no disminuyó durante todo el ciclo de cultivo. La existencia de un sumidero grande (la raíz) unida a una gran disponibilidad de sustrato, permitió que la estimulación de la tasa fotosintética por la $[\text{CO}_2]$ elevada continuara en el tiempo. Se evaluó el efecto de $[\text{CO}_2]$ muy altas sobre la fotosíntesis de plantas silvestres que crecen alrededor de emanaciones naturales, encontrándose que tales concentraciones no sólo no inhiben la tasa fotosintética, sino que la promueven muy por encima de la de los controles. Igualmente, estos investigadores evaluaron las respuestas fisiológicas y anatómicas de las plantas de *Bauhinia multinervia* (Papilionaceae) y *Spatiphyllum cannifolium* (Araceae) que crecen cerca y lejos de dos emanaciones naturales de CO_2 ($[\text{CO}_2] = 27,000 - 35,000 \mu\text{mol mol}^{-1}$) en la península de Paria, Venezuela (Fernández *et al.*, 1998). En plantas de ambas especies que crecieron bajo $[\text{CO}_2]$ elevado, la tasa fotosintética medida a $[\text{CO}_2] = 1,000 \mu\text{mol mol}^{-1}$ fue mayor que en plantas que crecieron a $[\text{CO}_2]$ normal y fueron medidas a $[\text{CO}_2] = 350 \mu\text{mol mol}^{-1}$. Esta respuesta fue el resultado de efectos directos del CO_2 sobre el aparato fotosintético. Concentraciones muy altas de CO_2 no inhibieron la fotosíntesis en estas especies; antes bien, les permitieron obtener balances de carbono mayores que los de plantas que crecieron a $[\text{CO}_2]$ normal, y esto fue particularmente evidente durante la sequía. Los resultados sugieren que las plantas pueden, en el lapso de pocas generaciones, responder a cambios muy pronunciados de la $[\text{CO}_2]$ atmosférica sin detrimento de su capacidad fotosintética.

Jones & Thornton (2003), estudiaron los posibles impactos de la producción de maíz en África y América Latina mediante modelos de simulación detallados, utilizando métodos de alta resolución para generar datos meteorológicos diarios. Concluyen que, aunque los resultados indican una reducción general de los rendimientos en 10% para 2055 (equivalente a 2 billones de USD por año), los resultados agregados ocultan una enorme variabilidad, con áreas donde los cambios en rendimientos son sustanciales, existiendo zonas donde el cambio climático favorece un incremento considerable de los rendimientos (Nor-este de Brasil), mientras que en otras, los rendimientos caen a niveles cercanos a cero (Piedemonte Andino). Por ello recomiendan que el cambio climático sea evaluado a nivel de finca, de manera tal que las comunidades agrícolas pobres y vulnerables puedan ser identificadas adecuadamente en actividades de investigación y desarrollo para aliviar la pobreza.

En la Primera Comunicación Nacional en Cambio Climático (CNCC) del país del año 2005, se simularon los rendimientos de cultivos anuales utilizando el sistema DSSAT. En maíz, al 2060, se estimaron reducciones de rendimiento entre 2 y 12 %, en caraota, entre 9 y 40% y en arroz, entre 8 y 12% (Puche *et al.*, 2003) dependiendo de la localidad. Al incluir un análisis posterior, el efecto del incremento del CO₂ en maíz, se mantiene la tendencia decreciente de los rendimientos entre 0,2 y 8,5 % a lo largo de las condiciones futuras. En arroz se incrementan los rendimientos entre 2.5 y 11.7% y en caraota en general se espera incrementos entre 5 y 28.4% (Puche, 2013).

Córcega (2006), evaluó los posibles cambios en los regímenes de humedad y temperatura atribuibles al cambio climático en las estaciones experimentales de la Facultad de Agronomía, según dos Modelos de Circulación General de la Atmósfera (GMC por sus siglas en inglés) y analizó algunas de sus consecuencias agrícolas y ambientales. Prácticamente todos los índices utilizados señalan cambios, en casi todas las estaciones, y en muchos casos ocurren a partir del 2040. En el peor de los casos (el período 2060), los cambios de temperatura y precipitación no son grandes (1°C a 3°C, y -36% a +20% en la época lluviosa, dependiendo del modelo). El modelo inglés (UKTR) en todas las estaciones ubicadas en grilla dos (Bajo Seco, El Laurel, Samán Mocho y Maracay) proyecta un futuro más seco que el modelo canadiense (CCC-EQ). Para la estación de San Nicolás, ubicada en grilla cinco, ambos modelos señalan un futuro más seco.

En cuanto a la temperatura, los modelos simulan un futuro más caluroso para todas las estaciones. Con respecto a los cambios en el régimen de humedad, para todas las estaciones, el modelo UKTR señala en algunos meses adelantos en la temporada lluviosa, mientras que el modelo CCC-EQ muestra atrasos. En ambos modelos se incrementa la frecuencia de períodos húmedos más cortos. En lo que respecta a los cambios en el régimen térmico, ambos modelos señalan una mayor frecuencia de valores extremos de temperatura y mayores problemas de discomfort animal y humano.

Warnock *et al.* (2007), evaluaron la selección de la fecha de siembra como estrategia de adaptación a los efectos del estrés térmico sobre los rendimientos simulados de siete materiales genéticos de caraota (*Phaseolus vulgaris* L.) en un área de de la parroquia Pío Tamayo del Municipio Andrés Bello del estado Lara. La revisión de literatura indica que esta especie es sensible a las altas temperaturas y que una tendencia creciente en la temperatura promedio, puede repercutir en forma negativa en la producción de alimentos de los agro sistemas tropicales. Reportan, además, que las variables: fijación de semillas, número de semillas por vaina, fotosíntesis, número de semillas totales y rendimiento en grano, son particularmente sensibles a las temperaturas altas. Evaluaron los rendimientos del cultivo mediante el modelo CROPGROBean del sistema DSSAT (*Decision Support System for Agrotechnology Transfer*), utilizando registros climáticos de 40 años e información local de suelo y manejo. A partir de encuestas definieron una fecha de siembra a entrada de lluvia (7/05) y dos a salidas (21/09 y 21/10), y establecieron 4 niveles posibles de productividad: potencial (sin limitaciones de agua o fertilidad, alcanzable con riego y fertilización, alcanzables sin riego y con fertilización y alcanzables sin riego ni fertilización).

Entre los resultados destacan que los rendimientos potenciales varían entre épocas y a lo largo de los años, debido a fluctuaciones en la radiación y la temperatura. También reportan variaciones entre cultivares. En los tratamientos con riego y fertilización, comparados con la fecha del 21 de septiembre, los rendimientos de mayo disminuyen 19% y los de octubre aumentan 12%; estas diferencias se deben a una disminución de las temperaturas y a un incremento de la radiación solar hacia finales de año. Por otra parte, el intervalo intercuartil (percentil 75 - percentil 25), indica que las fechas a finales de año presentan rendimientos más estables. Se concluye que para el 75% de los productores locales que aplican riego, el desplazamiento de la fecha de siembra hacia finales de año pudiera ser una alternativa para disminuir los efectos del estrés térmico. Para el 25% de productores restantes, que no aplican riego, la mejor fecha de siembra se ubica en el mes de mayo, a entrada de lluvias. Las diferencias encontradas entre los materiales evaluados indica la posibilidad de mejorar los rendimientos mediante el mejoramiento genético.

Gabaldón (2008), realizó una amplia revisión e identificó los posibles efectos del cambio climático sobre los entornos físico, biótico, humano y económico de nuestro país, con énfasis en las repercusiones que sobre la economía podría generar la “transición energética” en marcha. En el área agrícola, destaca que los cambios en el número de meses húmedos inducidos por la variación de la precipitación y evapotranspiración y las elevaciones generales de las temperaturas medias, pueden significar alteraciones significativas en la distribución espacio-temporal en las áreas de mayor producción agrícola del país y disminución de los rendimientos de algunos rubros, como es el caso específico del maíz. Además, el incremento de las temperaturas nocturnas conlleva una disminución de

la acumulación neta de materia seca, y por tanto a una disminución de los rendimientos. Destaca que al incrementarse en el territorio las zonas climáticas áridas, semi-áridas y semi-húmedas, del 39% al 47% (MARN, 2005), se incrementará la vulnerabilidad de los suelos agrícolas a la desertificación y por ende a su degradación.

En relación con el impacto del cambio climático sobre la incidencia de plagas sobre los cultivos, Pacheco (2012) evaluó los posibles efectos del cambio climático sobre la Broca del Café (*Hypothenemus hamperi* Ferrari), en los municipios productores de los estados Aragua, Carabobo, Sucre, Trujillo y Yaracuy, para los años centrados en el 2025 y 2050. Concluye que el aumento de la temperatura acelera los procesos fisiológicos en la planta de café, y por ende, determinará una floración y fructificación temprana, y, en segundo lugar, que las actuales lluvias extemporáneas están produciendo floraciones en diferentes meses del año; ambos procesos podrían inducir el adelanto de la aparición de la broca, ya no 120 días después de la caída de la primeras lluvias, sino de 90 a 105 días después de las mismas.

Chacón & Paredes (2014), modelaron espacialmente la distribución potencial de cultivos agrícolas importantes, en escenarios (trayectorias RCP propuestas por el IPCC en el 5to. Reporte de Evaluación del Cambio Climático del año 2014) de cambio climático en el estado Mérida. Según los modelos de distribución potencial de cultivos en estudio, el gradiente alto térmico es el determinante en la distribución espacial. El área probable de distribución de los cultivos de plátano y cacao se encuentra en el Sur de Lago por debajo de los 1000 m s.n.m. en donde las temperaturas son altas. La mayor área probable la tiene el café, con áreas potenciales en altitudes intermedias, en los Valles del Mocoties y los Pueblos del Sur. Por último, las áreas potenciales de los cultivos de papa y zanahoria se ubican por encima de los 2000 m s.n.m. hasta más de 3500 m s.n.m. en el páramo, donde las temperaturas son más bajas. En cualquiera de los cuatro escenarios de cambio climático propuestos por el IPCC (2014), es probable que se registren aumentos de temperatura y disminución de la precipitación, que, para la región en estudio, puede ir desde +1,5°C y -5% de precipitación, hasta 6°C y -28% en precipitación, cambios que traerían consigo reducción del área potencial actual para los principales cultivos en el estado. En el caso del café sembrado bajo dosel de la sombra de otros árboles, es probable que, a futuro, aumenten las áreas potenciales a mayores alturas, traduciéndose en la ganancia de nuevas áreas potenciales.

González-Cáceres (2014) describe el escenario actual de los impactos que producen los sistemas de producción animal por la generación de GEI y discute la necesidad de mitigarlos implementando sistemas productivos bajo un esquema de desarrollo sustentable. Señala que el aumento de temperatura influye en muchos aspectos, que van desde alteraciones en las horas activas de pastoreo, a una mayor incidencia de procesos infecciosos en los que el clima influye en los ciclos

vitales de los vectores. Propone la aplicación de nuevos enfoques a los sistemas de producción mediante prácticas agropecuarias que garanticen una agricultura inteligente respecto al clima para disminuir sus efectos.

Romero *et al.* (2014), establecieron medidas de adaptación al cambio climático en el sector agrícola de las comunidades de Palmar de Paya, Palmarote y Pirapira, en la cuenca alta del río Pao, estado Carabobo. Para ello realizaron un diagnóstico de las condiciones existentes, caracterizaron la zona, estimaron el riesgo y vulnerabilidad, y por último, seleccionaron las medidas de adaptación de acuerdo a las condiciones naturales, el plan de ordenamiento del sector, las experiencias locales nacionales e internacionales y la percepción de los pobladores. Concluyeron que el área presenta vulnerabilidad al cambio climático como consecuencia de un posible incremento de la temperatura y de mayor déficit hídrico, de un efecto marcado del fenómeno El Niño, y de los eventos extremos. Seleccionaron nueve medidas fundamentales, agrupadas en cinco aspectos: a) Gestión del agua (ajuste de fechas de siembra y sistemas de riego en cultivos permanentes) b) Conservación del suelo (incremento de la materia orgánica mediante aplicación de estiércol, abonos verdes y cultivos de cobertura), c) Ajuste de las prácticas agrícolas (selección de especies locales, sistemas silvo-pastoriles, siembra de policultivos), d) Aplicación de control biológico y e) Protección y uso sustentable de los ecosistemas. Estas medidas resultaron aplicables a las tres comunidades estudiadas, y se concluye que su aplicación incidirá en la sustentabilidad del sector y disminuirá las condiciones de riesgo y vulnerabilidad existentes.

García (2016), evaluó diferentes medidas de adaptación y mitigación del cambio climático para el cultivo de maíz en el valle del río Güey, para dos (2) series futuras de cambio climático centradas en los años 2040 y 2070, a través del modelo CERES-Maize, contenido en el sistema DSSAT (*Decision Support System for Agrotechnology Transfer*). Se evaluaron seis (6) alternativas de adaptación y mitigación del cambio climático: Alternativa “cero” (0): se asume que tanto para las series 2040 y 2070 no se tomará ninguna medida de adaptación al cambio climático; por lo tanto, el manejo agronómico del maíz se realiza con labranza convencional, fecha de siembra convencional y el mismo cultivar de maíz PB-8Ref. Alternativa 1: se considera que para las series 2040 y 2070, la única medida de adaptación aplicada es la vinculada con la labranza, ya sea implementando sistemas de labranza mínima o de siembra directa. Alternativa 2: en este caso la única medida de adaptación considerada es la de cambio de fecha, ya sea la fecha de siembra temprana o tardía. Alternativa 3: la única medida de adaptación puesta en práctica es la referida al cambio de cultivar de maíz, entre uno de ciclo largo (PB-8CL) y otro de ciclo corto (PB-8CC). Alternativa 4: en este caso se combinan las estrategias de labranza cero, fecha de siembra tardía y un cultivar de ciclo largo. Alternativa 5: se combinaron las estrategias de labranza convencional, fecha de siembra temprana y el cultivar de ciclo corto. La alternativa 6, que combina las

estrategias de labranza cero, fecha de siembra tardía y cultivar de maíz de ciclo largo (PB-8CL), presentó el mejor comportamiento en ambas series climáticas evaluadas, siendo particularmente efectiva en la serie 2040 al incrementarse el rendimiento en 4,4% y la eficiencia de uso del agua en 1,8%.

II.1.6 Aspectos socioeconómicos relativos al cambio climático, vinculados a la agricultura.

Las emisiones globales de GEI (CO₂ eq) se derivan de procesos económicos consustanciales al sistema económico, tales como la quema de combustibles fósiles y la producción de cemento y de un efecto que puede considerarse una consecuencia colateral del proceso económico, como el cambio de uso de suelo, básicamente deforestación (Le Quéré, 2014). La evolución de estas emisiones refleja su estrecha asociación con el estilo de desarrollo. En este contexto, se observa una estrecha asociación positiva entre ingreso per cápita, consumo de energía per cápita y emisiones de CO₂ eq (Figura II.1.2). De este modo, un rápido crecimiento económico, bajo las actuales circunstancias, estaría acompañado de un rápido crecimiento del consumo de energía y las emisiones per cápita.

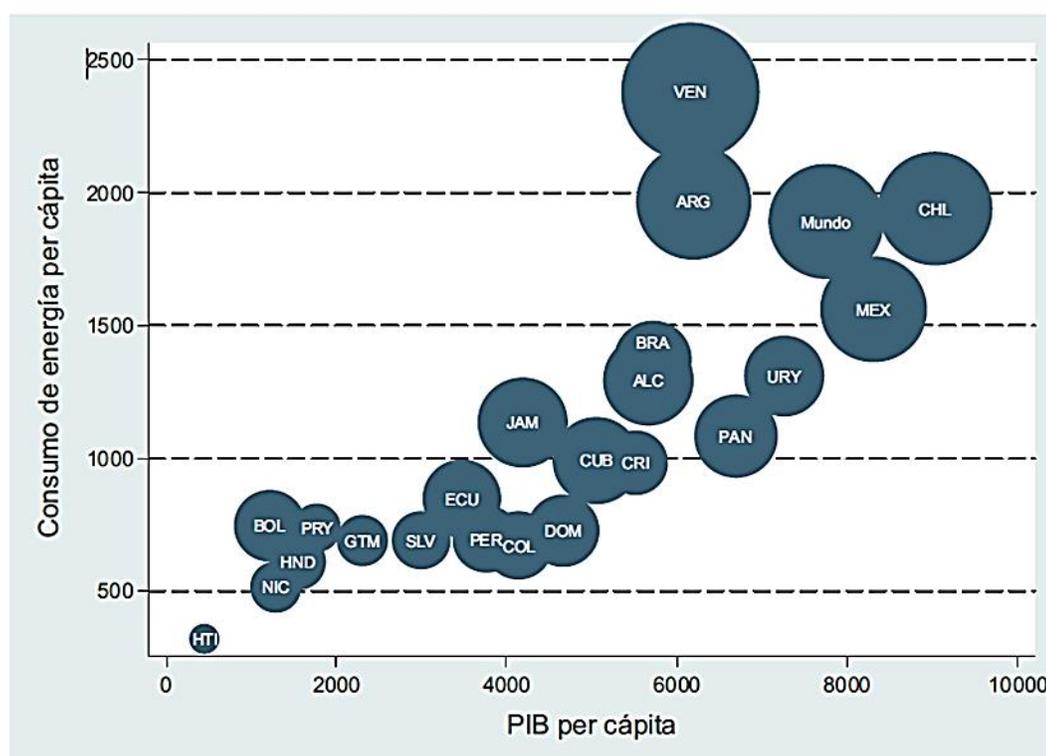


Figura II.1.2 América Latina y el Caribe. PIB per cápita y consumo de energía per cápita, 2011. (En dólares constantes de 2005 y kilogramos de petróleo equivalente). Fuente: Galindo *et al.*, 2015^{II.1.1}.

^{II.1.1} Nota: El tamaño de los círculos es relativo a las emisiones per cápita de GEI del sector energía. EL PIB per cápita está medido en dólares de 2005 y el consumo de energía per cápita en kilogramos de petróleo equivalente.

De acuerdo con la [figura II.1.2](#), se puede detallar que Venezuela es el país de mayor consumo per cápita de energía en América Latina y el Caribe, y que a su vez presenta la mayor cantidad de emisiones de GEI en el sector energía, lo cual representa el 59% del total de emisiones y que contrasta con las emisiones del sector agrícola, las cuales representan el 8% del total de emisiones (CAIT, 2016).

A pesar del alto porcentaje de las emisiones GEI que emite Venezuela, no se cuenta con información disponible que vincule su impacto en aspectos socioeconómicos nacionales, entre ellos, costos de adaptación de la agricultura. Sin embargo, los autores consideran plausible que Venezuela experimente efectos similares al resto de los países de la región, que han sido analizados por varios autores y que se exponen brevemente a continuación.

Las estimaciones sobre los costos de adaptación de la agricultura para América Latina y el Caribe representan alrededor de 0,02% del PIB actual de la región, considerando que el costo total de adaptación es inferior a 0,5%, aunque dichas estimaciones involucran un alto nivel de incertidumbre y muy probablemente tenderán a aumentar (World Bank, 2010). Ello sugiere que es conveniente económicamente instrumentar los procesos de adaptación que sólo recibir los efectos negativos del cambio climático (Galindo *et al.*, 2015).

A lo largo del siglo XXI, los efectos del cambio climático reducirán el crecimiento económico, complicarán los esfuerzos por reducir la pobreza y afectarán la seguridad alimentaria (Field *et al.*, 2014). Los efectos no serán uniformes entre países ni en el interior de los mismos; dependerán en gran medida de las condiciones locales, y de cómo dichas condiciones se modifiquen con el tiempo en respuesta al cambio climático y a otros fenómenos como el crecimiento económico (Mendelsohn & Dinar, 1999).

López (2015), hace referencia a que recientemente se ha evaluado el papel que juega la agricultura en el crecimiento económico, lo cual sugiere que: i) la agricultura reacciona ante cambios tecnológicos, ii) está ligada de manera directa con otros sectores, iii) en países en desarrollo este sector puede responder a los incentivos de la misma forma que el de los países desarrollados (Cervantes-Godoy & Dewbre, 2010). Estos argumentos condujeron a una interpretación alternativa de la regularidad empírica: en lugar de dejar de lado al sector agrícola, lo que se debe hacer es promover su crecimiento, para así facilitar la transformación estructural. Johnston & Mellor (1961), quienes fueron los primeros en promover esta visión, proponen cinco canales por los que un aumento en la productividad y en la producción agrícola contribuyen al crecimiento económico: i) aumentar la oferta de alimentos para consumo doméstico, ii) liberar trabajo para que sea empleado en la industria, iii) aumentar el tamaño del mercado para los productos manufacturados, iv) aumentar la inversión mediante el ahorro interno privado o la captación de impuestos agrícolas, y v) obtener divisas.

Timmer (2002), por su parte, utiliza un modelo neoclásico de crecimiento para analizar el papel que la actividad agrícola puede jugar en el crecimiento económico. Dicho modelo parte de la premisa de que el sector agrícola puede contribuir a que una economía se acerque a su potencial tecnológico. En el modelo, la agricultura, al generar divisas, permite la importación de capital y por lo tanto cierra la brecha tecnológica de una economía. La tasa de inversión puede incrementarse cuando crece el sector agrícola; esto contribuye a cerrar la brecha de capital físico. Además, el crecimiento de este sector permite un incremento en los niveles de educación rural y un aumento en la cantidad de nutrientes disponibles, lo cual puede aumentar la productividad laboral y, por lo tanto, contribuir a cerrar la brecha de capital humano. Por último, aunque existe poca evidencia empírica que lo respalde, es posible que junto con el crecimiento agrícola se tenga una mejora en una serie de condiciones institucionales que conllevan a un mayor crecimiento (López, 2015).

Gollin *et al.* (2002), se concentran en el impacto que el crecimiento en la productividad agrícola tiene para el crecimiento económico. De acuerdo con sus resultados, en el corto plazo, los aumentos en productividad agrícola pueden tener efectos mayores en el crecimiento económico que incrementos comparables en la productividad en el sector no-agrícola. Sin embargo, en el largo plazo la productividad en el sector no-agrícola es la clave para el crecimiento (López, 2015).

López (2015), resalta que el sector agrícola también juega un rol importante en la seguridad alimentaria. Ningún país ha logrado sostener un proceso de crecimiento económico rápido sin antes resolver el problema de seguridad alimentaria. Ésta es necesaria para el crecimiento, puesto que el acceso inadecuado e irregular a alimentos, limita la productividad y reduce la inversión en capital humano (Bliss & Stern, 1978; Strauss, 1986; citados por López, 2015).

Existen cuatro canales mediante los cuales el crecimiento agrícola puede contribuir a aliviar la pobreza: i) incrementando de manera directa el ingreso y consumo de los pequeños agricultores, ii) reduciendo el precio de los alimentos, iii) aumentando el ingreso generado por la economía rural no-agrícola, y iv) aumentando el empleo y salario de los trabajadores no-calificados (Anríquez & Stamoulis, 2007 citado por López (2015).

De acuerdo con Timmer (2002), las principales políticas para promover al sector agrícola pueden dividirse en cuatro grandes rubros: i) entorno macroeconómico adecuado, ii) inversión en infraestructura rural, iii) promoción de innovación tecnológica, y iv) incentivos financieros. En general, más allá de proveer de un entorno macroeconómico apropiado, el gobierno debe proveer de bienes públicos que, constituyen insumos fundamentales para aumentar la productividad agrícola. Entre estos están: la investigación para mejorar las posibilidades de producción, los programas de educación y extensión,

facilidades para proveer de insumos de mejor calidad (en especial semillas mejoradas y fertilizantes) y acceso a crédito y a opciones de mercadeo (López, 2015).

Lopez (2105), refiriéndose a Magrin *et al.* (2014), señala que los niveles de pobreza en muchos países de América Latina son tales que se tiene una alta vulnerabilidad a la variabilidad climática. Entre 2000 y 2013 los eventos climáticos extremos en América Latina trajeron como resultado 13.883 muertes y 53,8 millones de personas afectadas; las pérdidas económicas estimadas ascendieron a 52 mil millones de USD. La actividad agrícola en gran parte de la región es vulnerable al cambio climático e incluso un calentamiento moderado causaría daños a los cultivos en muchos de los países que la integran (Mendelsohn, 2009; Seo & Mendelsohn, 2008).

II.1.7 Adaptación y agricultura

La implementación de medidas de adaptación enfrenta una cantidad de barreras ambientales, económicas, de información, sociales, y de comportamiento (Howden *et al.*, 2007). Es por esto que, dependiendo de su diseño y ejecución, las políticas públicas pueden inhibir o fortalecer la capacidad de los agricultores para adaptarse al cambio climático (Eakin, 2005). El diseño de políticas de adaptación eficientes requiere entender cuál es el papel que distintas estrategias de adaptación pueden jugar, cuáles pueden ser las más exitosas, y qué condiciones favorecen u obstaculizan la adaptación. Dar respuestas precisas a estas preguntas continúa siendo un área abierta de investigación (Howden *et al.*, 2007).

Considerando lo antes descrito, López (2015) recomienda en términos de políticas públicas para la adaptación de la actividad agrícola al cambio climático:

1. Que los gobiernos de los países de América Latina deben tratar de entender la forma en la que sus agricultores perciben los riesgos climáticos, las limitantes que pueden enfrentar al momento de tomar decisiones de adaptación y la forma en que los contextos locales afectan tanto a la percepción del riesgo como a las acciones de adaptación. Una vez que se cuente con esa información podrán diseñarse políticas de adaptación que resulten relevantes localmente. Es recomendable que, al diseñar dichas políticas, además de considerar opciones tradicionales, incluidos instrumentos económicos como los subsidios e impuestos, se consideren alternativas de adaptación más recientes, como lo son las prácticas de adaptación basadas en ecosistemas, e incluso opciones novedosas que hagan uso de propuestas basadas en la economía del comportamiento.
2. Dada la incertidumbre que rodea al cambio climático, tanto en términos de la magnitud de sus efectos como del momento en el que éstos se presentarán, es muy importante que las políticas sean flexibles y que puedan ser modificadas. En este sentido, es fundamental que al diseñar las políticas,

se diseñe también una estrategia de monitoreo y evaluación de las mismas, para que los gobiernos tengan información confiable y oportuna que les permitan decidir si la política está cumpliendo sus objetivos o si debe ser modificada.

3. Se debe tomar en cuenta que, aun cuando los modelos predicen que los efectos más graves del cambio climático se empezarán a sentir dentro de varias décadas, es importante promover la adaptación desde ahora, para evitar que los agricultores estén expuestos a alteraciones repentinas en las condiciones climáticas.

II.1.8 Conclusiones

- Para realizar una evaluación exhaustiva sobre los impactos, vulnerabilidades y adaptación al cambio climático en el área agrícola en Venezuela, se confrontaron dificultades para obtener la información, entre ellas se pueden mencionar: su dispersión, desactualización de las estadísticas y que las fuentes que publican las mismas no las presentan para un año común. Esto determina frecuentes inconsistencias y dificultades para su análisis.
- En este trabajo se revisaron diversas fuentes, resultando un total de 68 publicaciones, 15 (22%) se refieren específicamente al tema de posibles impactos del cambio climático sobre la actividad agrícola, 9 (13%), relacionadas con los aspectos socioeconómicos del cambio climático, 7 (10%) de carácter general, 15 (22%) sobre variabilidad climática en Venezuela, 25 (37%), relativas a la respuesta de cultivos y animales a las condiciones. Del total de estudios relativos a cambio climático sólo 6 (9%), corresponden a los últimos 5 años.
- Existe un número importante de investigaciones orientadas a caracterizar la variabilidad temporal y espacial del clima; no obstante, la temática no se ha abordado desde la óptica de la evaluación del impacto del cambio climático sobre dicha variabilidad. Los trabajos analizados revelan que Venezuela presenta una gran diversidad climática en cuanto a los patrones espaciales, estacionales e interanuales de las variables climáticas.
- Los efectos de variables macroclimáticas, ampliamente documentados en otros países de la región, no están claramente definidos para Venezuela. La mayoría de los trabajos sobre este tema se refieren a los eventos ENSO y no se distingue un efecto uniforme sobre nuestro país. Se requiere mayor voluntad institucional para apoyar investigaciones sobre la actividad agrícola, dado que involucra seres vivos, como los cultivos, animales, plagas, malezas y otros agentes bióticos, así como el ambiente físico, labores y manejo en general y aspectos socioeconómicos. Estos componentes interactúan de manera compleja y en muchos casos sus efectos trascienden al sector agrícola. El clima es parte del ambiente físico, y afecta, de múltiples e interconectadas

formas, a todos los componentes del sistema agrícola. Por su parte, cada componente tiene requerimientos climáticos específicos.

II.1

- Sin embargo, la sensibilidad de la búsqueda de muchos de estos componentes es muy baja en la literatura científica, con mayor interés en el estudio de aspectos vinculados con los efectos directos sobre cultivos y animales, especialmente en la fenología, variables productivas y mortalidad de animales. También se pudieron identificar estudios sobre efectos indirectos, tales como oportunidad para realizar labores agrícolas, desarrollo de enfermedades, población de polinizadores, calidad de productos, y potencial energético.
- Se pone en evidencia la importancia de la variabilidad interanual del clima en la agricultura tropical. Particularmente, se reporta gran variabilidad interanual de la precipitación y en consecuencia, de las fechas de inicio, término y duraciones de los períodos de disponibilidad de agua. Los rendimientos, la fenología, los períodos para operaciones de labranza y siembra, el peso de los animales, la edad al primer parto y la mortalidad animal, muestran variabilidad interanual asociada a estas variaciones en la disponibilidad de agua.
- Contrariamente a lo que comúnmente se señala sobre la estabilidad de la radiación y la temperatura en condiciones tropicales, las investigaciones muestran que sus fluctuaciones determinan diferencias en los rendimientos potenciales dentro del año y a través de los años. Se reportan variaciones en las temperaturas que tienen efecto sobre plantas y animales. En especies como leguminosos y frutales, estas variaciones afectan la aparición y duración de las fases fenológicas. Por otra parte, determinan en conjunto con la humedad relativa, la severidad de enfermedades a través de los años. En el caso particular de frutales de clima templado que crecen en localidades tropicales de altura, las variaciones determinan cambios en las horas frío acumuladas en cada ciclo y ello afecta la calidad de la floración y la producción.
- En términos generales, los impactos reportados del cambio climático sobre cultivos incluyen: variaciones en los rendimientos, en la duración de la estación de crecimiento y en su distribución espacial. El clima futuro durante el ciclo de los cultivos y sus efectos sobre los rendimientos cambian según el cultivo, la localidad y el escenario climático considerado. En general, en el maíz se han estimado reducciones de alrededor del 10% en los próximos 50 años (si no se toman medidas de adaptación). Entre los posibles impactos, se reportan reducciones en las áreas potenciales para ciertos rubros, particularmente, los cultivos perennes en las áreas que serán más secas y en cultivos de piso alto, donde se estima un incremento de la temperatura. Algunos cultivos como el café podrían incrementar su superficie cultivable en pisos altitudinales más altos.

- Con relación a la producción animal, existen muy pocos trabajos de investigación que evalúen el impacto del cambio climático sobre la actividad pecuaria en el país; no obstante, el incremento de la temperatura, alterará en el caso del ganado bovino y ovino las horas activas de pastoreo y a su vez tendrá una mayor incidencia sobre los procesos infecciosos que puedan afectar a los animales. Se infiere que los actuales problemas de altas temperaturas y sus consecuencias sobre la producción de aves y pequeños rumiantes, pudieran agravarse en un futuro más cálido.
- Entre las medidas de adaptación al cambio climático evaluadas en Venezuela, están el cambio de las fechas de siembra, empleo de cultivares de ciclo largo y labranza conservacionista. Los resultados identificados en los trabajos revisados, que han determinado los requerimientos térmicos y la tolerancia al estrés hídrico de cultivares y variedades, pueden servir de base para la selección de las especies con mayor potencial de adaptación a las condiciones climáticas futuras del país.
- De acuerdo con la revisión realizada, el sector agrícola en Venezuela presenta alta vulnerabilidad ante el cambio climático, debido a los siguientes factores vinculados al clima:
 - La estacionalidad del sector agrícola, en particular la agricultura de secano, está determinada por las precipitaciones.
 - La disminución de las precipitaciones y el aumento de la temperatura reducirán los rendimientos de los principales cultivos del país.
 - Las condiciones climáticas futuras incrementarán la vulnerabilidad de los suelos agrícolas a la desertificación y por ende a su degradación.
 - En general, las medidas a aplicar deben enmarcarse en las líneas de agricultura sustentable propuestas por la FAO, con el fin último de mantener la productividad garantizando un uso adecuado del ambiente físico y los recursos productivos. Dentro de estas medidas, debe promoverse el fortalecimiento de la red hidrometeorológica y la conformación de sistemas de seguimiento y alerta para el apoyo de decisiones en el área agrícola. Estos sistemas deben estructurarse teniendo en miras diferentes categorías de usuarios públicos y privados.
 - El cambio climático requiere urgentemente ser evaluado a nivel de finca, de manera tal que las comunidades agrícolas pobres y vulnerables puedan ser identificadas adecuadamente en actividades de investigación y desarrollo para aliviar la pobreza.

- A lo largo del siglo XXI los efectos del cambio climático reducirán el crecimiento económico, complicarán los esfuerzos por reducir la pobreza y afectarán la seguridad alimentaria del país.
- En cuanto a los aspectos institucionales, las estrategias nacionales para afrontar el cambio climático, delineadas en la Primera CNCC del país del año 2005, siguen estando vigentes. Entre las estrategias, vale destacar el garantizar la seguridad agroalimentaria mediante medidas de adaptación y mitigación (MARN, 2005); sin embargo, a la luz de la presente revisión de literatura, realizada once años más tarde, se infiere que no se han tomado las medidas necesarias para llevar a cabo estas acciones, y reducir la vulnerabilidad de la agricultura del país ante el cambio climático.

Referencias

- Álvarez, L. (2003). *Optimización de la fertilización nitrogenada y del manejo del agua de riego en la producción de arroz mediante el modelo de simulación CERES-rice*. Tesis Doctoral. Doctorado en Ciencias Agrícola, Postgrado en Agronomía. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. 243 p
- Anríquez, G., & Stamoulis, K. (2007). Rural Development and Poverty Reduction: is Agriculture Still the Key. *Electronic Journal of Agricultural and Development Economics*, 4(1): 5–46.
- Avilán, L., Marín, C., Pérez, M., Soto, E., Rodríguez, M., Ruiz, J., & Escalante, H. (2002). Floración de cultivares de mango de la colección del INIA-CENIAP. *Agronomía Tropical*, 52(4).
- Avilán, L., Soto, E., Pérez, M., Marín, C., Rodríguez, M., & Ruiz, J. (2005). Comportamiento fenológico híbridos guatemalteca por antillana de aguacate en la región centro-norte costera de Venezuela. *Agronomía Tropical*, 56(4).
- Avilán, L., Soto, E., Pérez, M., Marín, C., Rodríguez, M., & Ruiz, J. (2009). Comportamiento fenológico de la raza antillana de aguacate en la región centro-norte costera de Venezuela. *Agronomía Tropical*, 59(1).
- Avilán, L., Soto, E., Pérez, M., Rodríguez, M., & Ruiz, J. (2007). Fenología de cultivares e híbridos de aguacate de la raza mexicana en la región centro-norte costera de Venezuela. *Agronomía Tropical*, 57(2).
- Bliss, C., & Stern, N. (1978). Productivity, wages and nutrition: Part I: The theory. *Journal of Development Economics*, 5(4): 331–362.
- Bracho, B., Arnaude, O., & Lozada, B. (2010). Fenología de cultivares locales de frijol y arveja del municipio Rafael Urdaneta, estado Táchira, Venezuela, basada en grados día. *Agronomía Tropical*, 60(2).
- Bracho, G. (2010). *Estimación de la radiación solar global en localidades de Venezuela*. Universidad Central de Venezuela. Trabajo para optar a la categoría de Profesor Asistente. Facultad de Agronomía. UCV.
- Bracho, G. (2005). *Caracterización del régimen térmico de las estaciones experimentales de Facultad de Agronomía, con fines agrícolas y ambientales*. Trabajo de grado. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela.
- CAIT. (2016). *Climate Data Explore*. Recuperado enero 1, 2016. Recuperado de: [http://cait.wri.org/historical/Country_GHG_Emissions?indicator\[\]=Total_GHG_Emissions_Excluding_Land-Use_Change_and_Forestry&indicator\[\]=Total_GHG_Emissions_Including_Land-Use_Change_and_Forestry&indicator\[\]=Agriculture&indicator\[\]=Energy&year\[\]=2012&act\[\]](http://cait.wri.org/historical/Country_GHG_Emissions?indicator[]=Total_GHG_Emissions_Excluding_Land-Use_Change_and_Forestry&indicator[]=Total_GHG_Emissions_Including_Land-Use_Change_and_Forestry&indicator[]=Agriculture&indicator[]=Energy&year[]=2012&act[])
- Caraballo, L., Pérez, M., & Marcano, M. (2005). Régimen y distribución de las lluvias en El Tigre, estado Anzoátegui, Venezuela. *Boletín Geominas*, 3(37): 67–72.
- Cervantes-Godoy, D., & Dewbre, J. (2010). Economic Importance of Agriculture for Poverty Reduction, OECD Food, *Agriculture and Fisheries Papers*, No 23. Paris, France.
- Corcega, E. (2006). *Consecuencias agrícolas y ambientales del cambio climático a escala local: estudio del caso de las estaciones experimentales de la Facultad de Agronomía*. UCV. Trabajo de grado. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela (UCV). Maracay.
- Díaz, C. (2000). *Evaluación de métodos de estimación de radiación global diaria y su impacto en la predicción del rendimiento potencial de caraota (Phaseolus vulgaris L.) usando modelos agronómicos*. Trabajo de Grado. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela (UCV). Maracay. 97 p. más anexos.
- Eakin, H. (2005). Institutional change, climate risk, and rural vulnerability: Cases from Central Mexico. *World Development*, 33(11): 1923–1938.
- FAO. (2015). *FAOSTAT*. Recuperado marzo 20, 2015. Recuperado de: <http://faostat3.fao.org>
- FEDEAGRO. (2016). *FEDEAGRO*. Recuperado marzo 1, 2016. Recuperado de: www.fedeagro.org
- Ferraroto, M. (2010). Respuesta de pira (*Amaranthus dubius* Mart. Ex Tell.) y amaranto (*Smaranthus cruentus* L.) al déficit hídrico. *Revista de La Facultad de Agronomía*, 36(1).
- Field, C., Barros, V., Dokken, D., Mach, K., Mastrandrea, M., Bilir, T., & White, L. (2014). Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of

- Working Group II to the *Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom.
- Flores, B., Florentino, A., Ferrer, J., Valera, A., & Maza, I. (2010). Áreas Ambientalmente Sensibles a la Desertificación en la Microcuenca Callecitas, estado Guárico. *Agronomía Tropical*, 60(3): 241–253.
- Gabaldón, J. (2008). El Cambio Climático y sus posibles efectos sobre Venezuela. *Humanía Del Sur*, 3(4): 13–32.
- Galindo, L., Samaniego, J., Alatorre, J., Ferrer, J., Reyes, O., & Sánchez, L. (2015). *Ocho Tesis sobre el Cambio Climático y el Desarrollo Sostenible en América Latina*. Santiago, Chile.
- García, H., & Ferraroto, M. (2009). Efecto del déficit hídrico sobre la acumulación de biomasa y nitrógeno en soya (*Glycine max* (L.) Merr.) inoculada con *Bradyrhizobium japonicum*. *Revista de La Facultad de Agronomía*, 35(1).
- García, V. (2016). *Evaluación de medidas de adaptación y mitigación del cambio climático del cultivo de maíz en el valle del río Güey, estado Aragua*. Universidad Central de Venezuela.
- García, V., Puche, M., Silva, O., Warnock, R., & Figueroa, R. (2002). Evaluación de diferentes estrategias de fechas de plantación para el cultivo de yuca (*Manihot esculenta* Crantz), en dos zonas de Venezuela, mediante el uso de un modelo de simulación. *Revista de la Asociación Argentina de Agrometeorología*, 1(2): 53–60.
- Guillory, J. (1983). *Caracterización agroclimática de las estaciones San Felipe, Guarabao y Central Matilde ubicadas en la franja maicera del estado Yaracuy, mediante la metodología de Reddy, S. J.* Trabajo de Grado. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela (UCV). Maracay. 78 p.
- Gollin, D., Parente, S., & Rogerson, R. (2002). The Role of Agriculture in Development. *American Economic Review*, 160–164.
- González-Cáceres, M. (2014). Producción Animal y Ambiente. *Mundo Pecuario*, 10(2): 111–119.
- González, M. (2010). *Evaluación de la de sequía hidrológica en los sectores alto y medio del río Caroní y su relación con la sequía meteorológica Venezuela*. Tesis de Maestría. Postgrado en Ingeniería Agrícola, Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela (UCV). Maracay. 121 p.
- Hernández, L., Hidalgo, W., Linares, B., Hernández, J., Romero, N., & Fernandez, S. (2005). Estudio preliminar de vigilancia y pronóstico para sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) en el cultivo de plátano (*Musa AAB* cv Hartón) en Macagua-Jurimiquire, estado Yaracuy. *Revista de La Facultad de Agronomía LUZ*, (24): 324–337.
- Herrera, A., Fernández, M., Rengifo, E., & Tezara, W. (2001). Efecto de la concentración elevada de CO₂ sobre la fotosíntesis en especies tropicales. *Interciencia*, (26), 469–471.
- Howden, S., Soussana, J. F., Tubiello, F., Chhetri, N., Dunlop, M., y Meinke, H. (2007). Adapting agriculture to climate change. En: *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(50): 19691–19696.
- Izquier. A. (2002). *Caracterización del régimen de humedad en las estaciones experimentales de la Facultad de agronomía de la Universidad Central de Venezuela*. Trabajo de Grado. Facultad de Agronomía. Univerddidad Central de Venezuela (UCV). Maracay.
- Johnston, B., & Mellor, J. (1961). The Role of Agriculture in Economic Development. *The American Economic Review*, 566–593.
- Labarca, M., Portillo, E., y Narváez, Z. (2007). Relación entre las inflorescencias, el clima y los polinizadores en el cultivo de la palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacquin) en el sur del lago de Maracaibo. *Revista de La Facultad de Agronomía UCV*, 24(2).
- Le Quéré, C. (2014). Global Carbon Budget. *Earth System Science Data Discussions*, 7(2).
- León, M., Pérez, M., Soto, E., Avilán, L., & Gutiérrez, M. (2009). Fenología de la naranja “Valencia” sobre tres patrones en Yumare, estado Yaracuy, Venezuela. *Revista Científica UDO Agrícola*, 9(2): 347–355.
- Lo Vuolo, R. (2015). *Estilos de desarrollo, heterogeneidad estructural y cambio climático en América Latina*. Santiago, Chile.
- López, A. (2015). *Cambio climático y actividades agropecuarias en América Latina*. Santiago, Chile.

- Lovera, M. (2004). *Efecto de la restricción de alimentos sobre la productividad de pollos de engorde durante la etapa de finalización en una granja comercial*. Trabajo de Grado. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela (UCV). Maracay. 74 p.
- Lozada, B., & Barboza, C. (2007). Tendencia de la precipitación pluvial en Bramón, estado Táchira, Venezuela. *Agronomía Tropical*, 57(2).
- Lozada, B. (1987). *Caracterización agroclimática de tres estaciones del estado Guárico, mediante la metodología de Reddy, S. J.* Trabajo de Grado. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela (UCV). Maracay. 122 p.
- Madriz, P., Puche, M., Warnock, R., & Trujillo, A. (2013). Caracterización fenológica de diez cultivares de caraota en relación a grados días acumulados, en Venezuela. *Revista de La Facultad de Agronomía*, 39(2): 60–73.
- Magrin, G. O., Marengo, J. A., Boulanger, J.-P., Buckeridge, M. S., Castellanos, E., & Vicuña, S. (2014). Central and South America. In *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (p. 1499–1566.). Cambridge, United Kingdom.
- MARN. (2005). *Primera Comunicación Nacional en Cambio Climático de Venezuela*.
- Martelo, M. T. (2003). Metodología para la Selección de Modelos de Circulación General de la Atmósfera y Escenarios Climáticos. En: *Primera Comunicación Nacional en Cambio Climático de Venezuela*.
- Martinez, G., & Sánchez, G. (2010). Algunos factores no genéticos y de grupo racial que afectan la edad al primer parto en vacas doble propósito. *Revista de la Facultad de Agronomía UCV*, 36(3).
- Maytin, C. E., Acevedo, M. F., Jaimez, R., Andressen, R., Harwell, M. A., Robock, A., & Azocar, A. (1995). Potential effects of global climatic change on the phenology and yield of maize in Venezuela. *Climatic Change*, 29(2): 189–211. Recuperado de <Go to ISI>://A1995QG63900005
- Mendelsohn, R. (2009). The impact of climate change on agriculture in developing countries. *Journal of Natural Resources Policy Research*, 1(1): 5–19.
- Mendelsohn, R., & Dinar, A. (1999). Climate change, agriculture, and developing countries: does adaptation matter? *The World Bank Research Observer*, 14(2): 277–293.
- Méndez, M. (1996). *Estrategias Metodológicas para la evaluación de fórmulas de estimación de la evapotranspiración potencial en los Llanos Altos Occidentales*. Trabajo para optar al ascenso en la categoría de Asistente. UCV. Maracay. 147 p.
- Mendoza, N., & Puche, M. (2007). Evaluación de la ocurrencia de sequía en localidades de Venezuela. *Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia*, (24): 661–678.
- MINAMB. (2011). *Plan Nacional del Ambiente*. Caracas, Venezuela.
- Monasterio, P., Pierre, F., Barreto, T., Marín, C., Mora, O., Tablante, J., Mendoza, C. (2011). Influencia del fenómeno el niño/oscilación del sur sobre la precipitación y rendimiento del cultivo de maíz en el municipio Peña, estado Yaracuy, Venezuela el niño/southern. *Agronomía Tropical*, 61(1).
- Oliveros, Y, Puche, M., Figueroa R. *Caracterización bioclimática de pollos de engorde en Venezuela*.
- Ovalles, F., Cabrera, E., Cortez, A., Rodríguez, M., Rey, J., & Comerma, J. (2005). Formulación de Lineamientos Generales para un Programa de Adaptación a los Posibles Impactos de los Cambios Climáticos sobre el Sector Agrícola en Venezuela, considerando tres escenarios (2015, 2040 y 2060). Aproximación a los Escenarios de Adaptación al.
- Ovalles, F., Cortéz, A., Rodríguez, M., Rey, J., & Cabrera-Bisbal, E. (2008). Variación geográfica en el impacto del cambio climático en el sector agrícola en Venezuela. *Agronomía Tropical*, 58(1).
- Pacheco, M. (2012). *Posibles impactos del cambio climático sobre la broca del café (Hypothenemus hampei Ferrari) en zonas cafetaleras de Venezuela*. Universidad Central de Venezuela.
- Paredes, Y., & Chacón, E. (2014). *Distribución potencial de los principales cultivos agrícolas en escenarios de cambio climático en el estado Mérida, Venezuela*. Tesis de Grado. Universidad de Los Andes.
- PLANARSAT. (2015). *Plan Nacional de Agricultura de Riesgo y Saneamiento de Tierras. Fase I (2015-2019)*. Ministerio de Agricultura y Tierras-Instituto Nacional de Desarrollo Rural. Venezuela. 95p.
- Pérez, M., Avilán, L., & Puche, M. (2001). Mango: Producción de alta densidad, Fenología y Grados-Días. *Agronomía Tropical*.

- Pérez, M., León, M., Soto, E., Avilán, L., y Gutiérrez, M. (2009). Aproximación al comportamiento climático en la zona cítrica de Yumare, estado Yaracuy, Venezuela. *Revista UDO Agrícola*, 9(2): 356–363.
- Pérez, M., Puche, M., Soto, E., Figueroa, R., Gutiérrez, M. & Avilán, L. (2012). El régimen hídrico como determinante ambiental en la iniciación floral de los cultivares de mango (*Mangifera indica* L.) Haden y Edward en condiciones tropicales. *Revista Científica UDO Agrícola*, 12(4): 770–778.
- Pérez, M., & Soto, E. (2004). Régimen de Precipitación en Montalbán estado Carabobo, Venezuela. *Agronomía Tropical*, 54(4):
- Pérez, M., Soto, E. & Avilán, L. (2004). Descripción de la fenología en tres cultivares de cítricos en la zona central de Venezuela. *Revista de La Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia*, 21(4):
- Posso, F., González, J., Guerra, F., & Gómez, H. (2104). Estimación del potencial de energía solar en Venezuela utilizando sistemas de información geográfica. *Revista Geográfica Venezolana*, 55(1): 27–43.
- Puche, M., Pérez, M., Soto, E., Figueroa, R., Gutiérrez, M. & Avilán, L. (2012). La temperatura mínima como determinante ambiental en la iniciación floral del mango. *Revista Científica UDO Agrícola*, 12(1): 83–90.
- Puche, M., Silva, O., & Warnock, R. (2003). *Evaluación del efecto del cambio climático sobre cultivos anuales en Venezuela*. Maracay, Edo. Aragua.
- Puche, M. (2013). Perspectivas de la agricultura ante el cambio climático. En: *Memorias del Primer Simposio Nacional sobre Cambio Climático: Perspectivas para Venezuela-28 y 29 de noviembre, 2013*. Facultad de Ciencias-UCV.
- Puche, M. (1994). *Evaluation of the water regime for rainfed agriculture in areas of seasonal rainfall in Venezuela*. Tesis doctoral para optar al grado de PhD. Universidad de Reading. Inglaterra.
- Quintana, A. (2015). *Evaluación de horas frío para cultivares de durazno (*Prunus persica*) en la estación Bajo Seco*. Trabajo de grado Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela (UCV). Maracay.
- Quiroz, I., Paredes, F., & Guevara, E. (2016). Incidencia de las Sequías sobre las Cuencas Aportantes a los Grandes Embalses en Venezuela. *Ágora de Heterodoxias*, 2(3): 65–89.
- Rodríguez, M., Cortez, A., Olivares, B., Rey, J., Parra, R., & Lobo, D. (2013). Análisis espacio temporal de la precipitación del estado Anzoátegui y sus alrededores. *Agronomía Tropical*, 63(1–2): 57–65.
- Rodríguez, Y., Martínez, G., & Galindez, R. (2009). Factores no genéticos que afectan el peso al destete en vacunos Brahmán registrados. *Zootecnia Tropical*, 27(4).
- Romero, A., Díaz, E., & Colmenares, C. (2014). Medidas de adaptación agrícola al cambio climático en la cuenca del río pao, Carabobo, Venezuela. *Revista UNELLEZ Ciencia y Tecnología*, (32): 65–73.
- Sáez Sáez, V. (2002). *Estudio de las condiciones agroclimáticas que determinan la infestación de Sigatoka Negra (*Mycosphaerell fijiensis* Morelet) en cultivos de plátanos (*Musa sp* AAB), Sur del Lago de Maracaibo, Estado Zulia*. Tesis doctoral para optar al Doctorado en Ciencias mención Ecología. Facultad de Ciencias. Universidad Central de Venezuela (UCV). Caracas. 239 p.
- Seo, S. N., & Mendelsohn, R. (2008). A Ricardian analysis of the impact of climate change on South American farms, 68: 69–79.
- Stern, N. (2008). The Economics of Climate Change. *American Economic Review*, 98(2).
- Strauss, J. (1986). Does better nutrition raise productivity? *The Journal of Political Economy*, 297–320.
- Thornton, P. K., Jones, P. G., Alagarswamy, G., Andresen, J., & Herrero, M. (2010). Adapting to climate change: Agricultural system and household impacts in East Africa. *Agricultural Systems*, 103(2): 73–82. article. Recuperado de: <http://doi.org/10.1016/j.agsy.2009.09.003>
- Timmer, C. (2002). Agriculture and Economic Developmen. En: *Handbook of Agricultural Economics* (pp. 1487–1546).
- Torrellas, F. (2009). *Metodología para determinar el riesgo de ocurrencia de mortalidad atribuible a elementos climáticos en una unidad de producción de pollos de engorde*. Tesis doctoral. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela (UCV). Maracay. 161 p.
- Warnock de Parra, R., Guillén, L., Puche, M., Silva, O., & Morros, M. (2007). Selección de la fecha de siembra como estrategia de adaptación a los efectos del estrés térmico sobre los rendimientos simulados de caraota (*Phaseolus vulgaris* L.) en un área montano baja del centro-occidente de

- Venezuela. *Revista de La Facultad de Agronomía*, 24(3): 442–467. Recuperado de http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttextpid=S0378-78182007000300004yIng=esynrm=isoytIng=es
- World-Bank. (2010). *The Cost to developing Countries of Adapting to Climate Change. New Methods and Estimates*. Washington, DC.
- Zambrano, A., Romero, C., Gómez, A., Ramos, G., Lacruz, C., Brunetto, M., ... Delgado, Y. (2010). Evaluación química de precursores de aroma y sabor del cacao criollo merideño durante la fermentación en dos condiciones edafoclimáticas. *Agronomía Tropical*, 60(2).
- Zoppi, P. 2002. *Evaluación de las posibilidades de uso del Modelo FAO de seguimiento y pronóstico agrometeorológico de cosecha en la Colonia Agrícola de Turén*. Trabajo de grado. Facultad de Agronomía. UCV. Maracay.



II.2 SALUD HUMANA Y DE ECOSISTEMAS

Coordinador líder

Laura Delgado

Autores líderes

Ana Carvajal, Karenia Córdova, María Eugenia Grillet

Palabras clave: salud humana, ecosistemas, olas de calor, ciudades, América del Sur, Venezuela.



Figura II.2.1 Botadero de basura en las afueras de Bejuma Edo Carabobo, Venezuela, 2010. Fotografía Alicia Villamizar.

Acrónimos

BEST	Bivariate EnSo Timeseries Index
C1	Estación Climática tipo C1 reconocida por la OMM
C2	Estación Climática tipo C2 reconocida por la OMM
CNCC	Comunicación Nacional de Cambio Climático
ENSO	El Niño Oscilación del Sur
ENSO	El Niño Southern Oscillation
IM	Infarto al Miocardio
INAMEH	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IRA	Infecciones Respiratoria Agudas
LC	Leishmaniosis Cutánea
MEIN	Modelos Espaciales de Incidencia Malárica
MPPS	Ministerio del Poder Popular para la Salud
MSDS	Ministerio de Salud y Desarrollo Social
NDVI	siglas en inglés del Índice de Vegetación Diferencial Normalizado
OMM	Organización Mundial de Meteorología
PNLT	Parque Nacional Laguna de Tacarigua
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
SOI	Índice de la Oscilación del Sur
UCV	Universidad Central de Venezuela
USA	United States of America
USB	Universidad Simón Bolívar
VC	Variabilidad Climática

II.2.1 Introducción

La *American Meteorological Society*, en su reporte sobre el estado mundial del clima del año 2015, señala que "...El planeta observó récord de calor por segundo año consecutivo, con la temperatura de la superficie mundial anual de 2015, superando el récord anterior en más de 0,1°C y superior a la media de mediados y finales del siglo XIX -comúnmente considerada representativa de las condiciones pre-industriales- por más de 1°C por primera vez" (Blunden & Arndt, 2016). De acuerdo con el IPCC (2014), los escenarios del clima cada vez más cálidos, serán propicios para la dispersión de enfermedades transmitidas por vectores. Una muestra de ello es el reciente brote regional de Zika, el cual ha adquirido proporciones globales, no sólo por el aumento en la cantidad de vectores, sino por la movilidad de la población, que puede transportar el virus a regiones distantes e infectar vectores sanos.

Los países tropicales, como Venezuela, son altamente vulnerables a este flagelo, particularmente debido a un relajamiento en las medidas de control sanitario (Delgado Petrocelli *et al.*, 2011, 2012) y por el desmantelamiento del sistema de salud, imposibilitado para enfrentar las recientes epidemias de enfermedades como el Zika, Chikunguya y Malaria, por mencionar algunas de las reportadas en los últimos cinco años. El subregistro y la falta de notificación de casos, no permiten contar con estadísticas confiables de los episodios epidémicos para caracterizar su intensidad, extensión y frecuencia. Ello, sin duda, aunado a la problemática de registros climáticos insuficientes para los estudios de cambio climático vinculados a la salud humana hace que Venezuela siga enfrentando dificultades por problemas de mantenimiento, densificación y operatividad de las estaciones climáticas-, dificulta la investigación de los impactos del cambio climático en materia de salud.

La presente revisión de literatura consideró solo trabajos vinculados al área de la salud humana y cambio climático, publicados en revistas arbitradas o que hayan sido arbitrados. Omite editoriales como el caso de la Red de Sociedades Médicas. En el área de salud de los sistemas naturales o con el enfoque de la salud en sistemas naturales, como los sistemas de las zonas marino costeras, hay trabajos interesantes publicados en memorias de simposios como el de Selper Internacional, que sí fue considerado; no así otros trabajos que están en vías de publicación.

II.2.2 Registros de clima y epidemiológicos del país

En la Primera Comunicación Nacional de Cambio Climático del país (CNCC), del año 2005, se advertía esta problemática, referida también por Andressen (2007), al señalar que las 973 estaciones meteorológicas y climatológicas completas tipo C1 y C2 existentes para la época, reflejaban dificultades de densidad en la red hidroclimática nacional, afectando la toma continua, sostenida y geográficamente amplia de registros de datos climáticos. En general, en las estaciones activas (tipo C1 y C2), los períodos suelen ser cortos, pueden contener datos englobados, con registro en promedio entre 10 y 15

años. En la actualidad, el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH) reporta un total de 600 estaciones, de las cuales 370 son automáticas y 230 son convencionales. Se observa una reducción del número de estaciones durante los últimos 15 años, que limita aún más la posibilidad de construcción de escenarios ambientales y climáticos, relacionados con aspectos vinculados a efectos del cambio climático y de la variabilidad climática sobre la salud humana, al evaluar los patrones de temperatura.

A la falta de datos hidrometeorológicos, se suma la ausencia de registros periódicos, sistematizados y en particular, actualizados, acerca de enfermedades a nivel nacional. Adicionalmente, existen limitaciones para concertar acuerdos que permitan definir estrategias de acción a fin de impulsar y posicionar el tema de cambio climático y su efecto en la salud humana en la Agenda Sanitaria Nacional. En el año 2010, surgieron algunas acciones sobre este particular, que incluían, por ejemplo, la conformación de un grupo multidisciplinario cuyo eje central fuera el Cambio Climático y la Salud, así como disponer de una plataforma de divulgación adscrita a un organismo calificado, con el cual se mantuviera el contacto entre actores interesados o que estuviesen trabajando en el tema. Surge entonces el Boletín “Clima y Salud”, en cuyo primer número titulado “El Clima, la Variabilidad Climática y el Cambio Climático”, se abordaron conceptos fundamentales para entender los procesos de cambio climático global (Delgado & Córdova, 2011), a fin de facilitar la comprensión de este sistema y su vinculación con los efectos de los cambios de clima tanto en la salud humana como en la salud de los sistemas naturales. Entre estas definiciones resulta clave para efectos del presente capítulo la variabilidad climática (VC) referida a variaciones en las condiciones climáticas medias y otras estadísticas del clima (como las desviaciones típicas, los fenómenos extremos, etc.) en todas las escalas temporales y espaciales, y que ésta puede deberse, tanto a procesos naturales internos que ocurren dentro del sistema climático (variabilidad interna), como a variaciones en el forzamiento externo natural o antropogénico (variabilidad externa).

La necesidad de disponer de una data confiable para poder generar escenarios ambientales, a fin de comprender, tanto la dinámica de algunas enfermedades que afectan al país, tales como la malaria, el dengue, el Zika, la Chikungunya, la enfermedad de Chagas, como sus potencialidades de expansión, producto del impacto de la alteración de variables ambientales vinculadas al clima, llevó a un grupo de investigadores de dos universidades nacionales, Universidad Simón Bolívar (USB) y Universidad Central de Venezuela (UCV), a la propuesta y puesta en marcha de un proyecto de creación de un repositorio de datos tanto climáticos como epidemiológicos, para la gestión de riesgo (Bravo de Guenni *et al.*, 2012). Con este proyecto se lograron, primeramente, diferentes acuerdos con instituciones nacionales encargadas de la recolección y recopilación de data climática, y así disponer de buena parte de estos registros para el repositorio. En segundo lugar, se concretó la interpretación y extracción de datos de las bandas de diferentes dispositivos de medición de estaciones climáticas. Pero lo más relevante fue el

desarrollo de una plataforma WEB para la utilización de los datos, sin importar el formato en que estuviesen, a fin de poder generar información que apoyara en el manejo del riesgo epidemiológico y ambiental.

Una observación importante de resaltar, es que el tema de la salud no fue considerado en la 1ra CNCC (2005), lo que probablemente se debió a que la investigación desarrollada en Venezuela sobre el fenómeno ENSO, y su vinculación con el área de la salud, había sido escasa para el momento en el cual se termina de consolidar dicha comunicación. Posteriormente, Andressen (2007), también se refiere a la limitada existencia de estudios sobre las relaciones entre el fenómeno ENSO (El Niño Southern Oscillation) y la variabilidad climática.

Sin embargo, es importante destacar que, para el año 1997, ya había registros de publicaciones con datos de variables climáticas, como es el caso de precipitación y su relación tanto con El Niño como con la malaria en Venezuela (Bouma & Dye, 1997, Barrera *et al.*, 1998). A partir de los años 2000 se observa continuidad en la investigación de las relaciones de las enfermedades infecciosas mediadas por vectores y el ENSO en el país. Por ejemplo, Delgado *et al.* (2004), Cabaniel *et al.* (2005) y Rubio-Palis *et al.* (2006) hacen referencia a los impactos de la variabilidad climática ENSO sobre la dinámica climática de diferentes regiones, en particular aquellas relacionadas con focos o brotes de enfermedades metaxénicas como malaria, dengue, enfermedad de Chagas, Leishmaniasis y fiebre amarilla, así como también, el efecto sobre enfermedades respiratorias y cardiovasculares, entre otras (Ponce, 2000, Ponce & Fernández, 20014, Carvajal & Oletta, 2011).

En la última década, a través del uso de geotecnologías en el país, se ha logrado profundizar un poco más en estas relaciones, pudiéndose encontrar cambios en los patrones de precipitación y temperaturas, evidenciándose la relación entre estos cambios y las dinámicas espacio-temporales de algunas de estas enfermedades (Delgado-Petrocelli *et al.*, 2012), así como también, en el efecto que tiene sobre la salud el fenómeno conocido como el de “islas térmicas”, en algunas ciudades o grandes centros urbanos, como Caracas (Córdova, 2011).

II.2.3 Cambio climático y salud: diferentes enfoques de investigación en Venezuela

Diferentes enfoques han sido desarrollados para estudiar y analizar el efecto del cambio climático y de la variabilidad climática, sobre la salud, tanto humana como de los sistemas naturales en Venezuela. En relación con las enfermedades metaxénicas, Delgado *et al.* (2004) describen la relación de la variabilidad climática y la dinámica de la malaria en el estado Sucre; encontrando relación entre los casos de malaria y las fases del ENSO. Rodríguez *et al.* (2004) plantean la relación del ambiente con una protozoosis sistémica, resaltando el efecto de la variabilidad climática sobre la malaria.

Para el año 2005, Cabaniel *et al.* describen los posibles impactos de ENSO sobre la Leishmaniasis cutánea (LC) en el estado Sucre en el período 1994-2003. Más adelante, Gabaldón (2008), analiza una amplia gama de posibles efectos del cambio climático para Venezuela, incluyendo, en el entorno humano, aspectos relacionados con las infecciones transmitidas por vectores. En este mismo sentido, Delgado Petrocelli *et al.* (2009, 2011, 2012) en búsqueda de relaciones entre el ENSO (evaluado a través del indicador *Best Index*) y una epidemia rural como la malaria, identifican la existencia de un corredor epidemiológico en la Península de Paria, así como una relación entre el fenómeno ENSO y esta enfermedad. Los mismos autores presentan evidencias de la relación de las diferentes intensidades de las fases del ENSO y la incidencia malárica; en particular con las fases de La Niña y El Niño de intensidad Moderada, con una mayor influencia de La Niña moderada sobre el incremento de los casos de malaria. Igualmente, Delgado-Petrocelli *et al.* (2013) caracterizaron, a través del uso de tecnologías espaciales, el comportamiento y la dinámica del dengue en el Estado Mérida, Venezuela, para el período 2001-2009. Estos autores reportaron una relación entre los focos de dengue y las poblaciones cercanas a éstos, probablemente producto de la movilidad de la población, a través de sus ejes viales, como la vía transandina. Igualmente, encontraron relaciones entre el dengue y la estacionalidad, el clima, la alteración del patrón de variabilidad climática ENSO y con un patrón cultural como es el almacenamiento de agua.

Otro aspecto importante lo describe Delgado (2011), y es el relacionado con los aspectos éticos vinculados a los efectos del cambio global y el cambio climático; y como, socializando los resultados obtenidos a través del uso de los sensores remotos y el análisis espacial (modelos espaciales de incidencia malárica- MEIN) con las comunidades de la región objeto de estudio, se puede ayudar a reducir la vulnerabilidad que se genera por la falta de información.

Sáez (2006), reporta un incremento del dengue en Venezuela, así como una alteración de los patrones de lluvia. El autor supone que el cambio climático también provoca un cambio de los sistemas bióticos como, por ejemplo, en las poblaciones de mosquitos, y lo infiere a través del incremento en los casos de dengue. En este mismo trabajo, también se realiza un análisis comparativo entre el índice de Oscilación del Sur (SOI) y los casos de dengue en Venezuela para el período 1990 a 2006, y categoriza los años de registros del SOI según su intensidad. Igualmente, interpreta la distribución de casos de dengue por región, y encuentra que los resultados por regiones permiten distinguir dos situaciones al comparar los casos/mes con el índice climático. En primer lugar, no hay una distribución similar del número de casos entre las regiones del país. En segundo lugar, no se observa ningún patrón definido en la ocurrencia de la enfermedad en el tiempo y, aunque el número de casos no representa un indicador apropiado, el autor propone que se puede considerar como una aproximación. Las regiones más

afectadas, por tanto, son la centro-norte y la occidental. También encuentra que en general, los casos de dengue están vinculados a los ENSO de intensidad débil y a la fase neutra.

Sáez & Martelo (2007a) tratan posibles cambios geográficos en la distribución de varias enfermedades metaxénicas para la región centro norte del país, en función de posibles incrementos de la temperatura, Así mismo, Sáez-Sáez *et al.* (2007b, 2008, 2009) reportan la relación de la malaria con la precipitación, temperatura del aire, utilizando series climáticas para evaluar esta relación en el estado Sucre. Igualmente, reportan la relación de la malaria y la variabilidad climática (a través del índice SOI) tanto a escala nacional (período 2000-2006) como para el Municipio Sifontes, del Estado Bolívar. Sáez-Sáez & Colmenares (2013), realizan un estudio del dengue en el nororiente de Venezuela y su incidencia en condiciones extremas de las lluvias durante los años 2009 y 2010. Los autores consideran que probablemente los incrementos en casos de dengue para los años estudiados son producto de la presencia de un Niño (2009) y una Niña (2010) y con la manera en que se daba el abastecimiento de agua durante estos años.

Grillet *et al.* (2014) empleando el modelaje han trabajado con la periodicidad de la incidencia de *Plasmodium vivax* y *P. falciparum* en series temporales de datos de malaria (1990-2010) en tres regiones endémicas en Venezuela, para determinar si las epidemias de malaria estaban relacionadas con la variabilidad del clima local y las anomalías climáticas regionales, como la de El Niño. Los autores encuentran que la malaria presenta un ciclo natural de incremento cada 3-6 años, relacionado con la periodicidad de El Niño y el efecto de éste sobre los patrones locales de las lluvias. Igualmente, encuentran que la malaria se intensifica significativamente un año después de cada evento de El Niño.

Para Venezuela y Argentina, Medone *et al.* (2015), trabajan la enfermedad de Chagas en la distribución de dos (2) de sus vectores y sus implicaciones en la fuerza de esta enfermedad; así mismo Ceccarelli & Rabinovich (2015) analizan el posible efecto del cambio climático en la distribución de cinco especies de triatomíneos vectores de *Trypanosoma cruzi* en Venezuela a través del modelaje, expresado como nicho o hábitat adecuado, bajo los escenarios A1B, B1 propuestos por el IPCC.

II.2.4 Efectos del cambio climático en la salud, a escala global y en Venezuela

A nivel mundial, se cuenta con evidencias del cambio climático sobre el incremento de episodios de enfermedades respiratorias y cardiovasculares, tanto de incidencias de Infarto al Miocardio (IM), como de casos de hipertensión, en días más calientes o calurosos. Estos casos de hipertensión han sido vinculados por Córdova (2011), por ejemplo, con aumento de la temperatura y las olas de calor como las ocurridas durante el año 2003, el cual fue un año Niño fuerte, cuando una onda de calor azotó a Europa causando un elevado nivel de mortalidad (Canoui-Poitrine, 2006).

Chaves & Pascual (2006), han investigado si la estacionalidad y periodicidad de la Leishmaniasis cutánea en Costa Rica, se relaciona con un factor regional periódico como el fenómeno del El Niño. En este estudio, se analiza una serie de tiempo de 10 años y se encuentra que efectivamente, esta parasitosis muestra ciclos naturales de periodicidad de 3 años, relacionados con la periodicidad de este evento climático. Resalta la importancia de conocer esta relación, a fin de desarrollar sistemas de alerta temprana. No todos los investigadores consideran que hay suficientes evidencias para inferir sobre el cambio climático y su efecto sobre la salud humana, en particular las enfermedades transmitidas por vectores.

En ese contexto, Chaves & Koenraadt (2010) analizan la robustez de las evidencias sobre el papel que ha podido tener el cambio climático (a través de cambios en la temperatura y patrón de lluvias a lo largo de los años) sobre la ocurrencia e intensificación de la malaria en zonas altas del este africano. Llegan a la conclusión de que no hay evidencias contundentes que separen la influencia del clima como factor regulador y de incidencia estacional o periódica sobre la malaria, de su influencia actual de promotor de tendencias positivas o negativas de la malaria en esta región. Mencionan que se ha abusado y manipulado con este tema, y que el carácter multifactorial de la malaria hace difícil separar la influencia del impacto de los cambios del clima actual de otros factores, sobre los cuales hay mejores evidencias de efectos significativos en esta enfermedad, como lo son los cambios en el uso de la tierra y cambios sociales. Resaltan la importancia del uso de series de tiempo de varias décadas, y de técnicas de análisis que permitan discriminar los efectos del clima sobre la malaria a distintas escalas espacio-temporales.

Chaves *et al.* (2013), con datos de Tailandia, mediante técnicas de simulación y modelaje, tratan de responder cómo afectaría un incremento de la temperatura (35°C) al ciclo de vida del mosquito *Aedes aegypti*. Los resultados predicen que aumentos bruscos de temperaturas, podrían producir brotes o aumentos inusuales de poblaciones de adultos en esta especie, con la consecuente implicación epidemiológica de este efecto, teniendo en cuenta que es vector de las arbovirosis urbanas: dengue, fiebre amarilla, Chikungunya y Zika.

En Venezuela, a pesar de que la primera causa de muerte son las enfermedades cardiovasculares, principalmente IM (Anuario de Mortalidad, 2012), no se cuenta con evidencias que la relacionen con el cambio climático. Al respecto Delgado Petrocelli *et al.* (2011, 2012) han advertido, al menos para las enfermedades transmitidas por vectores, que éstas son sistemas complejos multifactoriales, lo que dificulta vincular, de manera directa, las alteraciones en su dinámica con la variabilidad climática y el cambio climático, o con ambos.

Sin embargo, Córdova (2011), en un estudio sobre islas de calor urbano o islas térmicas en la ciudad de Caracas, encuentra evidencias de impactos de este fenómeno sobre las enfermedades respiratorias, durante el período en que se realizó el estudio (octubre 2009-marzo 2010). Durante ese período, en la época de sequía del país, la ciudad de Caracas experimentó un notable incremento de la temperatura superficial (+10°C), lo que probablemente provocó la alta incidencia de incendios forestales, así como la intensificación del fenómeno de calima, por el smog y los humos producto de los incendios registrados, durante la primera quincena del mes de marzo de 2010, los cuales actúan como contaminantes aéreos (Perdomo, 2009).

El incremento en la temperatura superficial encontrado por Córdova (2011) es consistente con el reporte de la Organización Mundial de Meteorología (OMM) quién considero la década de 2001-2010 como la más cálida registrada hasta ese momento, siendo el año 2010, uno de los años más cálidos desde 1998 (OMM, 2010, 2011). Según la autora, dicho incremento de temperatura tuvo relación con la contaminación del aire, lo que se tradujo en problemas de índole alérgico y respiratorio, incrementado el reporte de las infecciones respiratorias agudas (IRA) para las semanas 10 (07 al 13 de marzo) y 11 (14 al 20 de marzo) del Boletín Epidemiológico del Ministerio del Poder Popular para la Salud (2010), en el Distrito Capital y el estado Miranda, como fué reportado también por diferentes medios de comunicación durante el mes de marzo de 2010.

Los efectos del fenómeno ENSO en su fase La Niña, se han manifestado de forma significativa sobre el territorio nacional, en particular durante los años 1999 (Niña de intensidad fuerte) y 2000 (Niña de intensidad moderada) causando alto impacto en las costas venezolanas, en particular en el estado Vargas. En particular, el evento del año 1999, originado por incrementos extremos en los índices pluviométricos, provocó uno de los mayores deslaves que han ocurrido en ese estado y en el país en los últimos 60 años, el cual ocasionó un desastre socionatural, que significó pérdidas humanas en el orden de 20.000 fallecidos (Aranguren, 2008), aunque la cifra exacta aún no se conoce. Las lluvias continuaron los primeros meses del año 2000, causando importantes inundaciones en varios estados del país, principalmente: Miranda, Vargas y Falcón. Unas 120.000 personas perdieron sus hogares quedando como desplazados ambientales internos (Jiménez y Soledad, 2011). Estas personas tuvieron que ser reubicadas en refugios temporales bajo condiciones de saneamiento precarias.

En ocasión de la tragedia de Vargas, Ponce (2000) analizó la situación de salud de la población en los refugios temporales que fueron habilitados para este evento, durante la semana 50 del año 1999 hasta la segunda semana del año 2000, tanto a nivel nacional como en período post deslave en el estado Vargas. La autora se basó en los datos reportados por la vigilancia epidemiológica de la "Sala Situacional" del Ministerio de Salud y Desarrollo Social (MSDS), ahora denominado Ministerio del Poder Popular para la Salud (MPPS). Las patologías más frecuentes observadas en la población de los

refugios temporales a nivel nacional, hasta la semana epidemiológica 51, fueron lesiones externas, síndrome diarreico y problemas respiratorios, principalmente asma bronquial. La atención de salud en el estado Vargas, a partir de la semana 51 hasta el reporte obtenido en la primera semana de enero del año 2000, reflejó, contrario a lo observado a nivel nacional, un ascenso en el síndrome respiratorio. Ponce (2000) refiere que la situación en Vargas, pudo deberse a dos posibles condiciones: la exposición de individuos sensibilizados hacia alérgenos ambientales, principalmente ácaros y al hacinamiento en los refugios, tomando en cuenta referencias documentadas acerca de enfermedades asociadas a los refugios temporales que se han construido para dar atención a los efectos de eventos vinculados a cambio climático o variabilidad climática. Entre esas enfermedades se hace referencia a tuberculosis, neumonía, meningitis meningocócicas, escabiosis, pediculosis, desajustes psicológicos, así como las enfermedades comunes asociadas a las inundaciones y deslaves, como las diarreas. También incluye violencia de género.

A continuación se hace referencia a las enfermedades más comúnmente asociadas a las variables climáticas (precipitación, temperatura, velocidad del viento, humedad, etc.), las cuales se indican en el cuadro II.2.1, así como a aquellas enfermedades comunes en los ámbitos urbano y rural, con algunos ejemplos a escala nacional.

Cuadro II.2.1 Tipos de enfermedades asociadas a variables climáticas.

Tipo de enfermedad	Enfermedad
Metaxénicas	Dengue, Malaria, Chikungunya, Zika, Chagas, Encefalitis Equina Venezolana, Fiebre de Guanarito, Fiebre amarilla, Oncocercosis, Leishmaniasis
Enfermedades Respiratorias	Asma, Bronquitis alérgicas, Influenza
Enfermedades Cardiovasculares	Hipertensión e Infartos
Enfermedades de la piel	Cáncer de piel
Enfermedades asociadas a los refugios temporales debido a cambio climático o VC	Tuberculosis, Neumonía, Meningitis Meningocócicas, Diarreas, Escabiosis, Pediculosis, Desajustes psicológicos, Violencia de género
Enfermedades asociadas a las inundaciones y deslaves.	Mordedura de animales, infecciones de piel, tétanos.

Fuente: Perera, 2017; Carvajal & Oletta, 2011, 2010.

Para el ámbito urbano, según las previsiones de importantes agencias ambientales y climáticas, como el Panel Intergubernamental de Cambio Climático-IPCC (IPCC, 2007; 2014) y la Organización Mundial de Meteorología-OMM (OMM, 2011), la intensificación en la ocurrencia de las olas de calor puede estar vinculada a los efectos del cambio climático; de allí la importancia de monitorear eventos de calor, como aumentos de temperatura, incidencia de incendios forestales, así como la intensidad y extensión de la isla térmica en las áreas urbanas.

En el caso de Venezuela, en la ciudad de Caracas, se ha observado, además, un creciente aumento en la temperatura, en particular especialmente desde mediados de los años 50. Córdova

(2011) encuentra que, en Caracas, se presenta el fenómeno de islas térmicas y hace una evaluación del impacto de las islas térmicas o islas de calor urbano, en el ambiente y la salud humana, realizando un análisis estacional comparativo entre octubre- 2009 y marzo- 2010. La autora encuentra diferencias en la temperatura superficial registradas en el área urbana y la zona periurbana, entre las imágenes del período húmedo (octubre-2009) y las del período seco (marzo-2010), registrándose una anomalía positiva de +10°C en marzo de 2010 con respecto a octubre de 2009.

De acuerdo a los resultados derivados de los análisis de imágenes térmicas para el valle de Caracas, en períodos de sequía y lluvia (desde enero del año 2001 a enero del 2011), las anomalías se expresan con mayor intensidad durante la ocurrencia de eventos de calor resultantes de la intensificación del período de estiaje, a consecuencia de la variabilidad climática ENSO (Córdova, 2011b); aunque en los últimos años se atribuye directamente al cambio climático, al aumento en la intensidad de las olas de calor y a los períodos de estiaje en las regiones tropicales y subtropicales (IPCC, 2007, 2014; OMM 2010, 2011).

En el ámbito de las áreas rurales, y en relación al efecto del incremento de temperatura y cambios en los patrones de precipitación, en la salud de los sistemas naturales, se presentan algunas evidencias de los efectos de la variabilidad climática sobre la vegetación en el Parque Nacional Laguna de Tacarigua (PNUD Programa Pequeñas Donaciones, PPD: VEN/SGP/OP4/Y3/RAF/15). Mediante el uso de imágenes digitales y del cálculo del índice de vegetación normalizada NDVI, se ha puesto en evidencia que hay un efecto de la alteración del patrón de variabilidad climática sobre la vegetación del parque nacional. Por ejemplo, para marzo de 2001, de acuerdo al Índice de variabilidad BEST, se reportó un mes sin anomalías climáticas o neutro (-0,46); se observó que el índice de vegetación NDVI, muestra rangos favorables especialmente para la vegetación boscosa a pesar de estar en plena estación seca (0,27- 0,57 NDVI); probablemente, lo que ocurre es que la época de sequía esté suavizada, debido a que este mes de marzo viene precedido de dos meses, tipificados como Niña (enero (-0,88) y febrero (-1,15), respectivamente).

El análisis con el NDVI pone en evidencia los procesos de intervención que están ocurriendo en lo que debería ser el área de influencia alrededor de la poligonal que delimita el parque. Sin embargo, estos procesos no estaban consolidados para esta fecha considerada (marzo 2001). Todavía el corredor boscoso alrededor de la poligonal del parque se apreciaba conservado, a pesar de mostrar ya, cierto grado de intervención. Al analizar la temperatura superficial, se observan coincidencias entre las temperaturas más altas (28-35°C), con las áreas intervenidas, así como con los poblados localizados en el área de estudio. Dentro de la poligonal del parque, así como en el cuerpo de la laguna, predominan temperaturas entre 25-27°C, menos en el sector de la boca donde se observan temperaturas entre 22-24°C. Cuando se analiza el mes de abril del 2003, éste se identifica como un mes neutro de acuerdo al

Índice de Variabilidad BEST (0,29); sin embargo, hay que considerar que estuvo precedido por tres meses caracterizados como Niño, (enero (0,84), febrero (1,06), marzo, (0,83)), lo cual tiene un marcado efecto sobre la temperatura y la vegetación del área.

Para abril del 2003, el índice de vegetación calculado, presenta valores en rangos críticos en casi toda la superficie analizada, a excepción de algunos sectores boscosos en la margen inferior izquierda de la imagen analizada (0,27- 0,49, valores NDVI). El bosque aledaño a la poligonal del parque nacional está bastante fragmentado, y se observa un incremento de las superficies desforestadas, así como incrementos notables en la temperatura superficial en casi todas las áreas del parque (Córdova *et al.*, 2014).

Los eventos ENSO en Venezuela tienden a intensificar la temporada de sequía, lo que se expresa en las diferencias observadas entre marzo del 2001 y abril del 2003: la vegetación en abril del 2003 presenta rangos más críticos del NDVI, en correspondencia con altos valores de temperatura superficial. Sin embargo, es importante resaltar que no todos los cambios observados son atribuibles al fenómeno ENSO: cambios en la cobertura vegetal, que tienen origen en la desforestación, quemadas, cambios de usos de la tierra etc., también tienen un efecto modificador en los valores del NDVI y en la temperatura superficial.

El mismo proyecto abordó aspectos relacionados con el papel de la educación ambiental y la salud de los ecosistemas naturales. Se desarrolló un módulo educativo para familiarizar a los profesores de las escuelas aledañas al Parque Nacional Laguna de Tacarigua-PNLT, con el cambio climático y sus efectos sobre este sistema lagunar (Delgado *et al.*, 2011), el cual incluye un módulo instruccional sobre el efecto del cambio climático y algunas afectaciones en zonas costeras.

II.2.5 Recomendaciones para la adaptación en salud humana

En el contexto de cambio climático y su efecto sobre la salud, debe considerarse la adaptación a fin de reducir la vulnerabilidad frente al cambio climático. El IPCC (2014) define adaptación como “el proceso de ajuste al clima real o proyectado y sus efectos. En los sistemas humanos, la adaptación trata de moderar o evitar los daños o aprovechar las oportunidades beneficiosas. En algunos sistemas naturales, la intervención humana puede facilitar el ajuste al clima proyectado y a sus efectos”. Cuando se considera la salud, tanto humana como de los sistemas naturales, el proceso de adaptación debe partir, en primera instancia, del fortalecimiento de los servicios de salud, así como del seguimiento o monitoreo del diseño e implementación de medidas de control.

Delgado Petrocelli *et al.* (2011), han sugerido la creación de un sistema de vigilancia epidemiológica integrado, que trabaje sincronizado a nivel regional y a nivel local, adecuando el plan a

las particularidades locales de cada foco de enfermedad, para ayudar a reducir la vulnerabilidad en las áreas afectadas.

Carvajal & Oletta (2011), han propuesto medidas de adaptación en salud humana frente a situaciones de desastres vinculados al clima, a través de la identificación a nivel comunitario, de grupos de personas más vulnerables a las consecuencias del cambio climático, con énfasis en la seguridad de las embarazadas. Los autores han demostrado que los grupos más vulnerables son las personas de la tercera edad, los que tienen alguna discapacidad, los niños, los que padecen enfermedades de base, o comorbilidad y las embarazadas.

Carvajal & Oletta (2011), mencionan que las experiencias publicadas acerca de mujeres embarazadas ante desastres naturales, han sido poco estudiadas y que, en la bibliografía revisada sobre Venezuela, no se encontraron publicaciones al respecto. Los autores consideran necesario realizar estudios similares al de Xiong *et al.*(2008), acerca de vinculaciones entre eventos extremos y salud materna en consideración a los recientes eventos meteorológicos que han afectado al país (por ejemplo, los deslaves de Vargas y Santa Cruz de Mora, y las sequías extremas del 2005, 2010 y 2016). Xion *et al.* (2008), encontraron que el huracán Katrina, en el año 2005 en USA, y la subsecuente inundación, afectaron embarazadas de la ciudad de Nueva Orleans y áreas vecinas. Este trabajo aportó evidencias de una mayor frecuencia de parto prematuro en mujeres con exposición al huracán (14,0%) que las mujeres no expuestas (6,3%).

Carvajal & Oletta (2011), también proponen que las comunidades organizadas cuenten con un censo poblacional, que pueda servir para la toma de acciones de alerta temprana frente a un evento natural, o dirigir la atención a un determinado segmento poblacional ante una acción específica asociada al cambio climático, como por ejemplo, el estrés post traumático. En el marco del crecimiento postraumático, una experiencia adversa es vista como un catalizador potencial de cambio positivo a nivel psicológico e interpersonal (resiliencia). Se han utilizado diferentes variables y escalas para medir el evento post traumático, algunas de las variables estudiadas son: nuevas posibilidades, relacionarse con otros, fortaleza espiritual, apreciación por la vida y cambios espirituales.

La comunidad científica del país vinculada al área de la salud, frente a la falta de divulgación de información epidemiológica y climática, regular y confiable, ha propuesto la creación del Observatorio Nacional sobre Cambio Climático y Salud, como herramienta de gestión estratégica destinada de manera permanente a la recopilación, sistematización, análisis y difusión de información sobre el efecto que ocasiona el cambio climático en la salud y en sus determinantes sociales (Vidal *et al.*, 2014).

II.2.6 Conclusiones

Como se ha planteado en este capítulo, el cambio climático *per se* y su efecto tanto en la salud humana, como sobre los sistemas naturales, ha generado controversia; muchos autores afirman que para mostrar el efecto del cambio climático sobre la dinámica del sub sistema salud, se requiere disponer de series de registros (20 años o más) y hay que considerar la ventana temporal con la que se está trabajando.

En consideración a la falta de registros sistematizados y actualizados, tanto epidemiológicos como hidrometeorológicos en el país, se puede afirmar que los trabajos científicos sobre cambio climático y salud humana realizados en Venezuela hasta el presente, referidos en este capítulo, aportan información que permite contar con una aproximación al comportamiento de algunas enfermedades bajo el efecto de la alteración de los patrones de variabilidad climática, como lo es el ENSO.

Las tecnologías geoespaciales abren nuevas perspectivas de manejo de información, a fin de poder caracterizar las determinantes ambientales involucradas en los estudios, tanto de las enfermedades como de los sistemas naturales, así como, la modificación de sus dinámicas como un efecto de la alteración del patrón de variabilidad climática y del cambio climático

Referencias

- Anuario de Mortalidad (2012). Ministerio del Poder Popular para la Salud (MPPS). República Bolivariana de Venezuela.
- Aranguren, M.B. (2008). Creación, actualización y/o homogeneización de inventarios de desastres por eventos históricos y cotidianos a nivel de la Subregión Andina. Comunidad Andina. Corporacion Osso. Cali. Recuperado de: <http://www.comunidadandina.org/>
- Andressen, R. (2007). Circulación atmosférica y tipos de clima, Capitulo 13. En: *Venezuela Geo, Tomo.2 Medio Físico y Recursos Ambientales*, 238-328.
- Blunden, J. & D. S. Arndt, Eds., (2016): State of the Climate in 2015. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 97 (8):S1–S275, DOI:10.1175/2016BAMSStateoftheClimate.1
- Canoui-Poitrine F, Cadot E, Spira A. (2006). Excess deaths during the August 2003 heat wave in Paris, France. *Rev Epidemiol Sante Publique* 54(2):127-35
- Cabaniel G, Rada L, Blanco JJ, Rodríguez-Morales AJ, Escalera JP. (2005). Impacto de los eventos de el Niño Southern Oscillation (ENSO) sobre la leishmaniosis cutánea en Sucre, Venezuela, a través del uso de información satelital, 1994 – 2003. *Rev Peru Med Exp Salud Publica* 22(1):32-38
- Carvajal, A. & Oletta L. J. F. (2011). RSCMV. Noticias Epidemiológicas No 29. Embarazadas en situación de emergencia, incluyendo los desastres naturales. Recuperado de: <http://opsu.sicht.ucv.ve/bvd/pdf/RSCMV.pdf>
- Ceccarelli, S. & J. Rabinovich. (2015). Global Climate Change effects on Venezuela's vulnerability to Chagas disease is linked to the geographic distribution of five triatomine species. *J. Med. Entomol.* 1–11; DOI: 10.1093/jme/tjv119
- Córdova, K.; Delgado L.; Palacio, J. L. & Aguilar, V, H. (2009). Análisis de patrones climáticos de eventos ENSO mediante cadenas de Markov y modelos de Grafos. *Revista Acta Científica Venezolana*, 60 (1-2): 5-10
- Córdova K. (2011). Impactos de las Islas Térmicas o Islas de Calor Urbano, en el Ambiente y la Salud Humana. Análisis Estacional Comparativo: Caracas, octubre- 2009, marzo- 2010. *Revista Terra*. Vol. XXVII, 42: 95-122
- Córdova, K. (2011b). Geotecnología espacial aplicada al estudio del clima urbano: Análisis térmico superficial en la ciudad de Caracas-Venezuela, *Revista Geográfica Venezolana*, 52(2):31-46.
- Córdova, K, Delgado L, & Ramos S. (2014). Cambios en el Índice de Vegetación-NDVI y en los valores de Temperatura superficial-LST, vinculados a procesos socio-productivos y a la variabilidad climática ENSO en el Parque Nacional Laguna de Tacarigua-PNLT. XVI Simposio Internacional SELPER. *Memorias en formato digital* file:///C:/Documents%20and%20Settings/lldelgado/Mis%20documentos/Selper%20Medellin/Memorias/OT7-Cambios-en-el-Indice-de-Vegetacion-NDVI.pdf
- Chaves, L. F. & Koenraadt, C. J. M. (2010). Climate change and highland malaria: fresh air for a hot debate. *The Quarterly review of Biology*, 85(1): 27-57
- Chaves, L. F.; Scott, W. T.; Morrison, A. C. & Takadac, T. (2013). Hot temperatures can force delayed mosquito outbreaks via sequential changes in *Aedes aegypti* demographic parameters in autocorrelated environments. *Acta Trop.* pp 1-10, <http://dx.doi.org/10.1016/j.actatropica.2013.02.025>
- Chaves, L.F. & Pascual, M. (2006). Climate cycles and forecasts of cutaneous leishmaniasis, a nonstationary vector-borne disease. *PLoS Med* 3(8): e295. DOI: 10.1371/journal.pmed.0030295
- Delgado-Petrocelli, L., Córdova K., & Rodríguez, A.J (2004). Epidemiological Impact of Climatic Variation on Malaria Dynamics in a Northeastern Region of Venezuela. *International Journal of Infectious Diseases* 8 (Suppl 1): S23-S24.
- Delgado-Petrocelli, L, Córdova, K., Ramos, S., Aguilar, V.H. & Hernández, D. (2009). "Malaria Disease and Enso Variability Analysis Using Gis Tools in Sucre State, Venezuela". *European Journal of Tropical Medicine & International Health*, 14 Supplement 2: 157
- Delgado-Petrocelli, L. & Córdova K. (2011). El Clima, la Variabilidad Climática y el Cambio Climático. Conceptos fundamentales para entender los procesos del cambio global. *Boletín del grupo de Cambio Climático y Salud*, 1(1) http://www.ucv.ve/fileadmin/user_upload/comir/documentos/BoletinCC1ultima_version.pdf

- Delgado-Petrocelli, L., Camardiel, A., Aguilar, V.H., Martínez, N., Córdova, K., & Ramos S. (2011). "Geospatial tools for the identification a malaria corridor in Estado Sucre, a Venezuelan north-eastern State". *Geospatial Health* 5(2):169-176.
- Delgado-Petrocelli L. (2011). "The Ethical Implications of Geospatial Technologies and New Perspectives for Community Involvement in the Face of Global Change: The Case of Malaria in Sucre, Venezuela". Ethical transformations for a sustainable future. Olivier Urbain and Deva Temple, Editors. Transation Publishers, New Brunwick (U.S.A.) and London (U.K.). *Peace & Policy*. 14:143-154
- Delgado, L., Aranguren, J., Córdova, K., Moncada, J.A., Lugo, C. & Briceño, I. (2011). Módulo instruccional El efecto del cambio climático y algunas afectaciones sobre zonas costeras: Parque Nacional Laguna de Tacarigua. Proyecto del PNUD programa Pequeñas Donaciones, PPD: VEN/SGP/OP4/Y3/RAF/15
- Delgado-Petrocelli, L., Córdova, K., Ramos, S. *et al.*, (2012a). HIDROX. Repositorio de Datos Hidroclimáticos para la Gestión de Riesgos Epidemiológicos y Ambientales. USB-UCV-FONACIT/ ISBN 987-9-8012596-2-6. 80 pag.
- Delgado-Petrocelli, L., Córdova, K., Camardiel, A., Aguilar, V.H., Hernández, D. & Ramos, S. (2012b). "Analysis of the El Niño/La Niña-Southern Oscillation (ENSO) Variability and Malaria in State of Sucre, Venezuela". *Geospatial Health* special issue 6 (3): S51-S57.
- Delgado-Petrocelli, L., Aguilar, V H., Marichal F, Camardiel, A., Córdova, K., Ramos, S. 2013. "Patrones Culturales y su Asociación con la Dinámica del Dengue en el Estado Mérida, 2001-2009". V Jornadas Nacionales de Geomática y IX Jornadas de Educación en Percepción Remota en el Ámbito de Mercosur. *Memorias en formato digital*. Depósito Legal lfx78320133002813 Pp: 199-206
- Gabaldón, A. J. (2008). El Cambio Climático y sus posibles efectos sobre Venezuela. *Humanía del Sur*. 3(4): 13-32
- Grillet, M.E., El Souki, M., Laguna, F. & León, J.R. (2014). The periodicity of *Plasmodium vivax* and *Plasmodium falciparum* in Venezuela. *Acta Tropica*, 129: 52– 60
- Harville, E.W., Xiong, X., Buekens, P., Pridjian, G., & Elkind-Hirsch, K. (2010). Resilience after Hurricane Katrina among pregnant and postpartum women. *Womens Health Issues*, 20(1): 20
- IPCC. (2007): Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (Eds). IPCC, Ginebra, Suiza, 104 págs.
- IPCC. (2014): Cambio climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad – Resumen para responsables de políticas. Contribución del Grupo de Trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea y L.L. White (eds.)] Organización Meteorológica Mundial, Ginebra, Suiza, 34 págs.
- Jinbao, Li., Shang-Ping, X., Cook, E. R., Morales, M.S., Duncan A. C., Johnson, N.C., Chen, F., D'Arrigo, R., Fowler, A.M., Gou, X. & Fang, K. (2013). El Niño modulations over the past seven centuries, *Nature Climate Change* 3:822–826 doi:10.1038/nclimate1936.
- Jiménez, C. E. y Soledad Suescún, J. I. (2011). Los desplazados ambientales, más allá del cambio climático. Un debate abierto. *Cuadernos Geográficos*, 49 (2011-2): 201-215
- MARN, 2005. Primera Comunicación Nacional en Cambio Climático de Venezuela. Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales-MARN, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo-PNUD y el Fondo Mundial para el Medio Ambiente-GEF, Republica de Venezuela, Caracas, 2005.PNUD, GEF.
- Medone, P., Ceccarelli, S., Parham, P.E., Figuera, A., & Rabinovich, J.E. (2015). The impact of climate change on the geographical distribution of two vectors of Chagas disease: implications for the force of infection. *Phil.Trans. R. Soc. B* 370: 20130560. <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2013.0560>
- OMM. (2010). Organización Mundial de Meteorología. Statement on the status of the global climate in 2009.N° 1055, 2010, ISBN 978-92-63-11055-8, World Meteorological Organization, Ginebra, Suiza.

- II.2
- OMM. (2011). Organización Mundial de Meteorología. Statement on the status of the global climate in 2010. N° 1074, 2011, ISBN 978-92-63-11074-9, World Meteorological Organization, Ginebra, Suiza.
- Perdomo de Ponce, D. (2000). Situación de salud en el Estado Vargas. Catástrofe a final del siglo XX. *Gaceta Médica de Caracas*, 108 (3):353-361
- Perdomo de Ponce, D. (2009). Contaminantes aéreos y sus efectos en pacientes alérgicos del Valle de Caracas. *Gaceta Médica de Caracas* 2009; 117(4):274-313. [Online] Recuperado de: <http://www.scielo.org.ve/pdf/gmc/v117n4/art03>.
- Rubio-Palis *et al.* 2006. *Diagnostics and Prediction of Climate Variability and Human Health Impacts in the Tropical Americas*. VENEZUELA. Final Scientific Report, Co-PI: Yasmin Rubio-Palis.
- Sáez-Sáez, V. (2006). Análisis Comparativo entre los Casos Mensuales de Dengue y El Índice de Oscilación del Sur (SOI) entre los Años 1990 y 2006, para Venezuela. *Akademias*, 8(2): 89-112
- Sáez-Sáez, V., Aguilar, V.H. & Pino S. J.C. (2008). Comparación entre los casos de malaria en Venezuela y el índice de oscilación del sur (IOS). Período 2000 a 2006. *Terra XXIV* (35):63-84.
- Sáez-Sáez, V. & Colmenares S. L. (2013). El dengue en el nororiente de Venezuela y su incidencia en condiciones extremas de las lluvias durante los años 2009 y 2010. *Investigaciones Geográficas*, ISSN: 0213 - 4691. eISSN: 1989 - 9890. Instituto Interuniversitario de Geografía, Universidad de Alicante, DOI: 10.14198/INGEO 2013.59.10 N° 59, enero - junio de 2013, pp. 171 – 182
- Sáez- Sáez, V., Delgado-Petrocelli, L., Aponte, C., Ramírez, C., Rodríguez, B., Mora, C., González, D., Larrea, F., Oropeza, F., Deháys, J., Pereira, J., Sánchez, J., Cordova, K., Ablan, M., Sanoja M., Pérez, M., & Alcalá, P. (2014). El Observatorio Nacional sobre Cambio Climático y Salud una herramienta de Gestión estratégica. *Revista El Observador del Conocimiento*, 2(4): 97-104
- Sáez-Sáez, V. y Martelo, M.T. (2007a). Posibles cambios geográficos para la expansión de enfermedades metaxénicas en la región centro-norte de Venezuela. *Revista Geográfica Venezolana*, 48(1): 83-99
- Sáez-Sáez V., Martínez J., Rubio-Palis Y. & Delgado-Petrocelli L. (2007b). Evaluación semanal de la relación malaria, precipitación y temperatura del aire en la Península de Paria, estado Sucre, Venezuela. *Boletín de Malariología y Salud Ambiental*, 47:177-189
- Sáez-Sáez, V. & Melean, A. (2014). Salud de la población, riesgos del cambio climático y la configuración jurídica venezolana. *Terra nueva etapa*, XXX (48):89 - 116
- Sáez-Sáez, V., Rubio-Palis, Y. & Pino S J. C. (2009). Variabilidad climática y malaria estudio regional: municipio Sifontes, estado Bolívar, Venezuela. *Terra*, XXV (37): 93-112
- Xiong X., Harville, E.W., Donald, R., Mattison, D.R., Hirsch, K.E., Pridjian, G. & Buekens, P. (2008). Exposure to Hurricane Katrina, Post-Traumatic Stress Disorder and Birth Outcomes. *Am J Med Sci* 336(2): 111–11



II.3 ÁREAS URBANAS Y TRANSPORTE

Coordinador líder
Roger Martínez

Autores líderes
Zulma Bolívar, Antonio De Lisio, Loraine Giraud, Luisa Páez, Isandra Villegas

Palabras clave: áreas urbanas, transporte, Región Metropolitana de Caracas, América del Sur, Venezuela.



Figura II.3.1 Atmósfera de Caracas 2016. Fotografía Alicia Villamizar.

Acrónimos

ACADING	Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat de Venezuela
ACFIMAN	Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales de Venezuela
AMC	Área Metropolitana de Caracas
BRT	Bus Rapid Transit
C40 Cities	Network of the world's megacities (originally 40 cities, now more than 90) committed to addressing climate change.
CAF	Corporación Andina de Fomento
CENDES	Centro de Estudios del Desarrollo
COLM	Costa Oriental del Lago de Maracaibo
COP21	Conferencia sobre el Cambio Climático de París
CORPOELEC	Corporación Eléctrica Nacional
CVG	Corporación Venezolana de Guayana
ENSO	Fenómeno climático de Oscilación del Sur "El Niño"
FONACIT	Fondo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GEP	Gramos equivalentes de petróleo
HIDROCAPITAL	Empresa Hidrológica de la Región Capital
HPL	Hospital Pérez de León
IDDR1	Institute for Sustainable Development and International Relations
INE	Instituto Nacional de Estadísticas
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
LED	Light-emitting diode
Lpd	Litros de agua potable por persona y por día
MARN	Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables (denominación anterior del MINEA)
MARNR	Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables (denominación anterior del MINEA)
MINEA	Ministerio de Ecosocialismo y Aguas
m s.n.m.	Metros sobre el nivel del mar
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
ONU	Organización de las Naciones Unidas
POGIZC	Plan de Ordenación y Gestión Integrada de las Zonas Costeras
PreCOP Social	Pre Conferencia de las Partes para el Cambio Climático Social
REMSCA	Región Metropolitana Sustentable de Caracas
RMC	Región Metropolitana de Caracas
SACC	Secretaría Académica de Cambio Climático
UCV	Universidad Central de Venezuela
USB	Universidad Simón Bolívar

II.3.1 Introducción

Este capítulo se refiere a la identificación de impactos, vulnerabilidades, riesgos claves y emergentes en áreas urbanas y en el transporte en Venezuela, señalando la experiencia en adaptación, manejo de riesgos futuros, acciones de mitigación, construcción de resiliencia, toma de decisiones y las posibles acciones para una efectiva adaptación al cambio climático, profundizando el análisis general con algunos casos de estudio. El capítulo vincula los temas de impacto, vulnerabilidad y acciones de mitigación y adaptación al cambio climático con la gestión de riesgos en ciudades, atendiendo así a los lineamientos dictados por el IPCC 2014.

La relevancia de abordar las áreas urbanas de Venezuela como un ámbito de interés para analizar la mitigación y adaptación al cambio climático, tiene que ver con el hecho de que, según el Censo Nacional del año 2011 (INE, 2013), en el país se registraron alrededor de 28 millones de habitantes con más del 87% de su población concentrada en áreas urbanas, las cuales ocupan menos del 20% del territorio nacional. Más del 60% de la población venezolana se localiza en entidades de Los Andes y de la Cordillera de la Costa y alrededor del 40% reside en 6 ciudades: Caracas, Maracaibo, Valencia, Barquisimeto, Maracay y Ciudad Guayana.

Las ciudades, además, han sido reconocidas en la reciente Conferencia de Cambio Climático (COP21), celebrada en París (Naciones Unidas, 2015), como entidades subnacionales, “donde debe mantenerse y promoverse la cooperación regional e internacional con el fin de movilizar una acción más vigorosa y ambiciosa para hacer frente al clima”. En tal sentido, en el presente informe se discuten brevemente las competencias e iniciativas de algunos gobiernos locales en esta materia.

II.3.2 Impactos observados y vulnerabilidades en áreas urbanas

En primer término, es necesario señalar que, debido a las formas dominantes de ocupación urbana en Venezuela a partir de la segunda mitad del siglo XX, caracterizadas por un vertiginoso proceso de urbanización sin planificación que aún continúa, los diversos escenarios de riesgos que pueden presentarse en las distintas áreas urbanas del país podrían asociarse a impactos socioambientales severos como consecuencia del cambio climático.

En Venezuela, a pesar de los permanentes intentos de reordenamiento territorial, el crecimiento urbano desordenado no ha podido revertirse por ausencia de políticas públicas efectivas que fomenten ciudades menos vulnerables y más resilientes. En vista de que más del 87% de la población venezolana habita zonas urbanas y que buena parte de las ciudades (en ocasiones más del 30% de su superficie), está constituida por asentamientos informales no planificados, puede asegurarse que más de 7 millones de personas a nivel nacional habitan entornos urbanos vulnerables, donde la desorganización espacial

implica la ocupación de planicies inundables, laderas inestables y zonas bajas a nivel del mar, expuestas a amenazas de diversa índole que pueden potenciarse como consecuencia de precipitaciones y cambios excepcionales en el clima. Igualmente, las alteraciones en el uso del suelo, producto del crecimiento urbano desordenado, traen consigo la ocupación indebida de áreas boscosas, suelos fértiles y nacientes de agua (Amaya, 2007), que afectan a una extensión mayor que las propias ciudades.

En el caso del Área Metropolitana de Caracas (AMC), la capital de la República, un crecimiento urbano ajeno a consideraciones ecológicas y geomorfológicas explica la vulnerabilidad de la ciudad. El AMC está compuesto por una importante porción de asentamientos informales que alojan alrededor de 1 millón y medio de personas (Alcaldía Metropolitana de Caracas, 2012). La precaria localización y forma de urbanización de estos asentamientos, los expone a desastres socionaturales, donde los deslizamientos en masa ocupan el 72% de las incidencias reportadas por Protección Civil, mientras que el 28% restante se distribuye entre derrumbes, inundaciones, asentamientos del terreno y otros (Grases, 2006). La lluvia es el principal detonante de estos deslizamientos, por lo que su incremento como consecuencia del cambio climático, aunado a la ocupación incontrolada de cauces naturales, de suelos mal drenados, inestabilidad geotécnica, e infiltraciones por deficiencias de las redes de agua potable y alcantarillado sanitario, se conjugan para incrementar el riesgo urbano (Cilento, 2002).

A ello se suman los efectos adversos que el AMC ocasiona sobre su entorno ecológico (De Lisio, 2003), por un comportamiento ambiental insostenible que se acentuará ante los efectos del cambio climático. A manera de ejemplo, la provisión de agua potable para el consumo urbano, mayor a 500 lpd (Martínez, 2014), es muy superior al promedio de consumo de otras grandes áreas metropolitanas latinoamericanas, con lo cual la disponibilidad de aguas para otros usos y para mantener un gasto ecológico se verá más afectada si ocurre una reducción de los escurrimientos. Por su parte, la descarga de efluentes no tratados, alrededor de 18 m³/seg, a la cuenca del río Tuy (Martínez *et al.*, 2013), potenciará su efecto contaminante en el entorno ecológico, entre otros efectos adversos.

En Venezuela los impactos ya son evidentes en los sistemas de electricidad y de agua potable (Martelo, 2004). El consumo eléctrico ha aumentado en distintas ciudades del país como consecuencia del mayor uso de aparatos eléctricos para aliviar la sensación térmica. Pero el impacto más relevante se produce en la menor disponibilidad de agua en embalses, afectando los sistemas de producción hidroeléctrica, poniendo en riesgo durante 2010 y 2016 la generación de más de 18 mil MW en el embalse de Guri.

El gobierno nacional estableció un programa de desarrollo termoeléctrico muy costoso en términos económicos, ineficiente energéticamente y que contraviene, por la generación de GEI, las disposiciones establecidas de manera general en el Acuerdo de París de Cambio Climático, y de manera

especifica en el Foro C40 (C40 Cities, 2015). Este costoso plan termoeléctrico se ha desarrollado sin considerar al potencial de energías renovables del país; en especial se debe resaltar que se descartaron las oportunidades de aprovechamiento hidroeléctrico que existen en diversas cuencas, sector sobre el que se tiene la relevante experiencia de Guri, con sus aciertos y desaciertos.

De acuerdo a lo señalado por el equipo liderado por Ernesto González en el informe intitulado “Agua Urbana en Venezuela” (González *et al.*, 2015), durante el año 2009 y hasta mediados del año 2010, Venezuela experimentó una de las temporadas más severas de sequía de los últimos años, como consecuencia del fenómeno de El Niño y Oscilación Sur (ENSO). Más del 70% de la energía eléctrica del país proviene del embalse de Guri (energía hidroeléctrica) ubicado en el estado Bolívar, al sur de Venezuela, y la reducción de su volumen (disminución de más de 20 metros por debajo de su nivel normal de operación) debido a la sequía, afectó el suministro eléctrico en casi todo el país, el cual debió ser racionado para evitar su colapso.

Entre las medidas tomadas, se aplicó un plan de ahorro energético de más de 900 MW, al reducirse la jornada laboral en las instituciones públicas (horas laborables: de 8:00 AM a 1:00 PM), además de un plan de corte de energía eléctrica durante determinadas horas a las diferentes ciudades. Esta situación de emergencia prevaleció desde finales del año 2009 hasta junio del año 2010, y volvió a repetirse con mayor severidad durante el primer semestre del año 2016.

Respecto al impacto en los sistemas de abastecimiento y distribución de agua potable para el consumo urbano, durante 2009 la prolongada sequía redujo casi el 50% de la disponibilidad de agua en el embalse Camatagua (déficit de $750 \times 10^6 \text{ m}^3$) y el 100% en el embalse Lagartijo ($80 \times 10^6 \text{ m}^3$) (González *et al.*, 2015), lo que implicó racionamientos severos durante varios meses para todos los sistemas de distribución de agua potable abastecidos por HIDROCAPITAL, la empresa hidrológica de la Región Capital, afectando el servicio de unos 5 millones de personas. Esta situación de escasez severa se reflejó ese mismo año en otras regiones del país, y se repitió en los años 2001 a 2003 (Marteló, 2004), lo mismo ocurrió a finales de 2015 e inicios de 2016.

La sequía producto de variaciones estacionales, ahora agravada por el fenómeno El Niño, también genera mayor incidencia de incendios forestales que afectan negativamente la calidad del aire, producto de la contaminación atmosférica asociada a estos incendios, y agravan la disponibilidad y calidad de agua en las cuencas con aprovechamientos hidráulicos, al reducir la cobertura de bosques. En este punto, vale destacar que, en un estudio realizado con el propósito de fomentar la gestión ambiental de CORPOELEC con el apoyo comunitario, se estimó mediante comparación de imágenes satelitales, que en los últimos 15 años se han perdido más de 3000 km^2 de bosques en seis cuencas de producción hidroeléctrica (cuencas de los ríos Caroní, Boconó-Tucupido, Masparro, Santo Domingo,

Camburito-Caparo y Uribante-Doradas), producto de incendios y de deforestación. En promedio, entre los años 2000 y 2005 han desaparecido 20 mil hectáreas anuales de bosques en el conjunto de las seis cuencas estudiadas (CORPOELEC, 2015).

II.3.3 Experiencia en adaptación y áreas urbanas

En Venezuela existen muy pocas acciones de adaptación al cambio climático en áreas urbanas, a pesar de la sensible pérdida de vidas, bienes e infraestructura en varias ciudades de los estados Vargas, Mérida y Apure como consecuencia de eventos climáticos extremos registrados durante los años 1999, 2005 y 2010. Los aludes torrenciales registrados en el Estado Vargas durante el año 1999 constituyen el evento de proporciones catastróficas de origen hidrometeorológico de mayor magnitud que se ha producido en el país en los últimos 60 años: el mismo afectó a más de 250 mil habitantes. Como consecuencia, el gobierno venezolano impulsó la construcción de obras de canalización y presas de retención de materiales y sedimentos en la mayoría de los cursos de agua que atraviesan los centros poblados más importantes del Estado Vargas. Sin embargo, a pesar de los estudios realizados para reducir la vulnerabilidad ante flujos torrenciales, algunas obras de protección hidráulica ya construidas no consideraron los diseños originales señalados por los proyectistas, y no se observa la implantación de recomendaciones de reordenamiento urbano que las complementarían (Genatios & Lafuente, 2006).

Respecto a la reducción de la vulnerabilidad del sistema eléctrico, para compensar la pérdida de potencial eléctrico, el Gobierno Nacional ofreció en el Plan de la Patria 2013 – 2019 diversificar la matriz energética e impulsar la generación de energías limpias (Asamblea Nacional, 2013).

El Plan de la Patria preveía construir tres plantas termoeléctricas con una capacidad total de generación de 2.100 MW, las cuales emplearían coque petrolero generado por el proceso de mejoramiento de los crudos de la Faja Petrolífera del Orinoco. Igualmente, el Plan preveía la construcción de parques eólicos y el uso de energía solar. Estos dos últimos propósitos se han cumplido en diversos puntos de la geografía del país, pero en general el Plan está bastante rezagado en su desarrollo. Tampoco han avanzado planes anteriores para el aprovechamiento pleno del potencial hidroeléctrico en la cuenca del río Caroní, cuyo potencial adicional es de 7.300 MW (CVG, 2004), ni se ha culminado la central hidroeléctrica de Tocoma, de 2 mil 250 MW, en construcción desde 2004 y cuya puesta en servicio estaba prevista para 2012.

Respecto a la generación a gas, que es un recurso fósil de menores emisiones, “la merma en la producción, bien por el agotamiento de muchos pozos o bien porque aún no existe la red de gasoductos requerida para su transporte, impide su utilización en plantas de generación termoeléctrica; por tanto, el mayor uso de energía térmica es a través de combustibles líquidos, principalmente diésel, transportado

por vía terrestre a través de camiones” (ACADING, 2009). Como resultado, las medidas efectivamente tomadas para reducir la vulnerabilidad hidroeléctrica, contravienen la generación de GEI establecida de manera general en el Acuerdo de París . y en el Foro C40.

A ello se suma que las plantas termoeléctricas operan a menos del 69% de su capacidad instalada, como consecuencia de la falta de mantenimiento de las instalaciones, descuidando los programas de mantenimiento preventivo y correctivo a las plantas térmicas del país en perjuicio de la calidad del servicio. Entre las centrales más afectadas, están Tocoa y Planta Centro, que son las que aportan más energía al sistema eléctrico nacional. La capacidad instalada total del parque térmico es de 15.000 MW, de los cuales hay disponibles menos de 4.500 MW (ACADING, 2009).

Respecto a las acciones de concienciación para alertar a los habitantes acerca de los efectos del cambio climático en la energía eléctrica, en la disponibilidad de agua para su consumo y los posibles daños en áreas urbanas por eventos hidrometeorológicos extremos, la preparación y divulgación de mensajes institucionales es diversa, notándose un mayor énfasis en la preparación de mensajes relativos a los efectos de El Niño en el sistema eléctrico (<https://www.corpoelec.gob.ve/plan-banda-verde>), una muy esporádica producción de campañas informativas dirigidas al consumo responsable de agua potable (<http://www.minea.gob.ve/>), y poca información relativa a la prevención de desastres sicionaturales, resiliencia y adaptación en ciudades (<http://www.pcivil.gob.ve/>).

II.3.4 Riesgos claves y emergentes en áreas urbanas

La disminución de la disponibilidad de agua y su repercusiones en la seguridad hídrica y energética de la población, la vulnerabilidad a desastres por amenazas de origen hidrometeorológico, y los posibles efectos en la Salud Pública por la eventual acentuación de enfermedades de origen hídrico y por vectores asociados al agua, tales como Dengue, Malaria, Chikungunya, Zika y otras enfermedades de transmisión similar como se ha indicado en el Capítulo II.2 Salud Humana y de Ecosistemas, parecerían ser temas claves y emergentes relacionados con el impacto del cambio climático en las áreas urbanas de Venezuela.

Respecto a la seguridad hídrica y energética, en los períodos en los que se ha registrado el fenómeno El Niño, las consecuencias adversas en el almacenamiento de agua en los embalses, han puesto en evidencia la necesidad de reforzar los sistemas de abastecimiento de agua para consumo humano, especialmente en la Región Norte-Costera; pero, además, la urgencia de impulsar una gestión más responsable y comedida del recurso, que apunte hacia la reducción del consumo per cápita y de las pérdidas en las redes. Por su parte, la generación hidroeléctrica representa más del 70% de la potencia eléctrica del país, por lo cual una afectación drástica del nivel de los embalses producto del cambio

climático (Marteló, 2004), acentuado por el manejo inadecuado de las cuencas y un alto consumo eléctrico, tendrá una profunda repercusión en la calidad de vida en las ciudades.

En cuanto a los eventos hidrometeorológicos que pueden generar riesgos socionaturales en áreas urbanas, la probabilidad de flujos torrenciales y deslizamientos en masa está estrechamente relacionada con la ocurrencia de lluvias y de vientos huracanados, tal como ocurrió en el caso de la tragedia de El Limón (1987), los deslizamientos ocurridos durante el huracán “Bret” especialmente en Distrito Capital, el estado Vargas y el estado Miranda (1994), el deslave de Vargas (1999 y 2005), y los aludes torrenciales en el Valle del Mocotíes en Mérida (2005) (Comisión Europea et al., 2008).

Estas amenazas tienen mayor incidencia en algunas partes de la geografía del país debido a las condiciones topográficas y geológicas de las cuencas a las que pertenecen. Las amenazas de inundaciones, como crecientes repentinas con gran poder de arrastre, están presentes en las serranías de la Cordillera Andina y de la Costa al norte de Venezuela, principalmente en la cara occidental de los Andes y en la cara norte de la Cordillera de la Costa, donde las pendientes pronunciadas y la presencia de cuencas relativamente de menor superficie generan importantes flujos instantáneos con capacidad de afectación en todas las riberas. Las inundaciones súbitas en las planicies costeras también se relacionan con el brusco cambio de pendiente que produce el relleno de los cauces (CAF, 2004).

Las zonas urbanas con mayor incidencia de inundaciones se localizan en los estados Miranda (municipios Buróz, Páez, Brión, Andrés Bello, Acevedo, Plaza, Zamora), Zulia (municipios Colón, Catatumbo, Francisco Javier Pulgar, Maracaibo), Distrito Capital (municipio Libertador), Aragua (municipios Zamora, Mario Briceño Iragorry, Girardot) y Carabobo (municipios Diego Ibarra, Carlos Arvelo, Los Guayos, San Joaquín). Aun cuando éstas son las cinco zonas con mayor incidencia de inundación, en todos los estados del país se presentan este tipo de eventos.

Respecto a aludes torrenciales, las áreas comprenden básicamente sectores montañosos de la cordillera de la costa, en la zona central costera del país y en los Andes Venezolanos (Comisión Europea et al., 2014).

Un riesgo emergente, consecuencia del cambio climático, lo constituye el incremento paulatino en el nivel del mar, estimado hasta el momento en 2 mm por año (Naveda, 2011), lo que implica que, progresivamente, podrían verse afectadas poblaciones a lo largo de 2.394 kilómetros de la costa venezolana, desde Castillete en la Península de la Guajira, hasta Punta Peñas en la Fachada Atlántica, 728 km en los alrededores del Lago de Maracaibo, el espacio insular con 762 km de costas, y las riberas del Orinoco, desde Puerto Ayacucho hasta Boca Grande en su desembocadura.

En la franja costera de Venezuela existen importantes áreas metropolitanas que suman más de cinco millones seiscientas mil personas, y en su mayoría superaron los 100 mil habitantes en 2011, tales como: el Área Metropolitana de Maracaibo (2,5 millones), la Costa Oriental del Lago de Maracaibo (750 mil), el Eje Puerto Cabello-Morón (250 mil), el Litoral Metropolitano del Estado Vargas (350 mil), el Eje Higuero-Carenero (33 mil), el Área Metropolitana de Barcelona – Puerto La Cruz (877 mil), de Cumaná (565 mil), de Carúpano (154 mil), y el Eje Porlamar – Pampatar (195 mil), entre las ciudades más importantes; las cuales, además de su población, concentran importantes servicios, muelles, puertos, aeropuertos, actividades industriales y comerciales, y se verían afectadas por diversos problemas: inundación de áreas urbanas, problemas de descarga de aguas residuales, daño a su infraestructura costera y pérdida de sus espacios litorales, generalmente utilizados con fines recreativos.

Además de afectar a las grandes poblaciones, el incremento del nivel del mar potencialmente también afectaría a más de 200 pequeños centros poblados, incluyendo sus facilidades para pesquerías y hábitats costeros, lo que perjudicaría su base económica (Lárez y otros, 2004).

En la Primera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático (MARNR, 2005) se señaló que unos 311,93 km de costa, incluyendo a las poblaciones de la Costa Oriental del estado Falcón, el Cabo Codera – Parque Nacional Laguna de Tacarigua, Barcelona – Puerto La Cruz - Guanta y algunas áreas de la Isla de Margarita quedarían afectadas como resultado del incremento esperado de 0,5 m s.n.m., inundando unas 3.184,33 hectáreas. Más recientemente, Olivo et al. (2010) advierten que "de no haber una respuesta efectiva ante el incremento del nivel del mar, estaría en situación de riesgo un valor capital significativo en infraestructura turística (132,90x106 Bs.), urbana (96,40x106 Bs.) y hasta la vialidad (13x106 Bs.), con serias implicaciones sociales, económicas y ecológicas", solamente para el sector costero Cabo Codera-Laguna de Tacarigua en el estado Miranda.

Particular atención merece la Costa Oriental del Lago de Maracaibo (COLM), la cual, debido al fenómeno de subsidencia del suelo por la extracción de petróleo, se encuentra, desde los años 40, varios metros por debajo del nivel de aguas del Lago; esta situación afecta a las poblaciones de Lagunillas, Tía Juana y Bachaquero, situadas en la COLM, las cuales están protegidas por un dique contenedor de 48 kilómetros de longitud, cuya estabilidad se vería comprometida.

Respecto a los cambios en la salud pública en áreas urbanas, investigaciones realizadas por Rifakis *et al.* (2005), Bruzual & Mora (2014), reseñadas más adelante como estudios de casos, señalan la existencia de un mayor número de casos de dengue durante los años No El Niño (1999, 2000, 2001, 2004), 60,26% más que la media, en comparación con los años El Niño (1998, 2002, 2003). Los resultados reflejan la influencia positiva que tienen las condiciones climáticas (precipitaciones, temperatura y presencia del fenómeno La Niña) sobre la epidemiología del Dengue en el este de

Caracas (Rifakis *et al.*, 2005). Para llegar a conclusiones más amplias acerca de los efectos del cambio climático en el ordenamiento del territorio y en la salud de la población, algunos expertos aconsejan la participación de un equipo mayor de especialistas (Sáez & Meleán, 2014).

Por último, vale destacar que para efectos de la adaptación en áreas urbanas del país, el programa de la Gran Misión Vivienda Venezuela, hubiera podido representar un buena opción. Creado para suplir el déficit de más de 2 millones de viviendas a escala nacional, de haberse construido estas nuevas viviendas bajo los lineamientos del Foro C40, se hubiera logrado una reducción importante de las emisiones GEI asociadas al crecimiento del hábitat urbano. Adicionalmente, aún falta evaluar el impacto socioeconómico de la huella energética de esta Misión.

II.3.5 Riesgos en el transporte urbano

En el sector transporte del país, es necesaria mayor efectividad para reducir emisiones de efecto invernadero. Tan sólo en el Área Metropolitana de Caracas (AMC) se producen unos cinco millones de desplazamientos diarios, sin considerar los efectuados por los residentes de las conurbaciones (CAF, 2011). Lizarraga (2012) refiere que, aunque la ciudad posee un índice diario de movilidad (1,6 viajes/hab./día) inferior a la media de las metrópolis latinoamericanas (2 viajes/hab./día) y a la de las ciudades de países desarrollados (3,6 viajes/hab./día), el 79% de los recorridos vehiculares es realizado por automóviles y taxis, lo que repercute en un alto consumo de combustibles fósiles. Aun con el ajuste de precio de venta al público implantado en Venezuela en febrero de 2016, el combustible fósil cuesta alrededor de un céntimo de dólar por litro (USD 0,01/litro), por lo cual el AMC es la metrópoli latinoamericana con el menor precio de la gasolina y el mayor consumo por habitante (670 GEP /hab./día). Este patrón de movilidad y de gestión de los recursos energéticos se repite con pocas variaciones en todas las áreas metropolitanas del país.

En la capital del país, sólo el 24% de los viajes diarios se realizan en carro particular, mientras que los tres cuartos restantes se realizan a pie y en transporte público. Aunque más de la mitad de los caraqueños (57,4 %), utilizan los medios de transporte colectivo, la red vial privilegia los recorridos realizados en carro individual con una ocupación mínima de una persona por vehículo, intensificando la congestión vehicular. El bajo costo del combustible no contribuye al uso moderado del auto particular, lo que explica el predominio de este tipo de vehículos en la composición del tránsito de la ciudad (CAF, 2011).

En el AMC la emisión de contaminantes, en toneladas/día, para Transporte Individual (TI) y para el Transporte Colectivo (TC) se estimó en 2007 en CAF (2010):

- Monóxido de Carbono (CO): TI: 258,2 vs. TC: 138,8 t/día.

- Hidrocarburos sin Combustión (HC): TI: 43,6 vs TC: 20,1 t/día
- Óxidos de Nitrógeno (NOx): TI: 13,1 vs. TC: 13,9 t/día
- Dióxido de Azufre (SO₂): TI: 0,9 vs TC: 1,5 t/día
- Material Particulado (MP): TI: 1,0 vs TC: 0,4 t/día
- Dióxido de Carbono (CO₂): TI: 2.820 vs TC: 1.212 t/día

La mayor cantidad de emisiones en el AMC la genera el uso del transporte individual. Si bien ello es una característica propia de las grandes ciudades en América Latina, en el caso del AMC tiene una incidencia mayor, por las razones antes señaladas. Ello se agrava por la inexistencia del control de emisiones de fuentes móviles, una actividad que urge implantar en todas las grandes ciudades del país.

II.3.6 Posibles acciones de mitigación y adaptación en áreas urbanas

El señalamiento de principios para una efectiva mitigación y adaptación de las ciudades venezolanas ante el cambio climático, debería abordarse dentro de las iniciativas existentes para el logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS-Agenda 2030) y del Acuerdo Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres. El Dr Maesela Kekana, experto sudafricano y miembro del IPCC, en un reporte internacional relativo a las Ciudades y el Cambio Climático (Kekana, 2016), propone, por un lado, examinar la dinámica de las ciudades y la manera de cómo estimulan el cambio climático, tales como la generación de gases de efecto invernadero, los cambios en el uso del suelo, el incremento de la producción y consumo de bienes y servicios, la vulnerabilidad económica y social de sus habitantes y el crecimiento urbano desordenado; y por el otro, analizar los impactos derivados del cambio climático y sus efectos en la ciudades, tales como estrés e islas de calor, el fenómeno de las sequías y precipitaciones extremas, las inundaciones, los vientos huracanados y la elevación del nivel del mar, y las consecuencias de estos fenómenos en el ámbito urbano.

En el reporte Kekana (2016) se sugiere que, con base en ese conocimiento, se identifiquen las acciones más pertinentes de mitigación y adaptación en áreas urbanas, enmarcándolas dentro de las iniciativas de sostenibilidad y reducción de riesgos de desastres, formuladas por los organismos internacionales. En tal sentido, el mismo reporte señala doce posibles temas de interés para su análisis; se resumen aquí, por la pertinencia de aplicarlos en las ciudades venezolanas:

- Profundizar en el estudio de variables hidrometeorológicas y climatológicas y su relación con el comportamiento ambiental de la ciudad y la región a la que pertenece, vinculando y monitoreando

las emisiones urbanas, la forma y estructura urbana, el uso del suelo, el consumo de recursos naturales y el metabolismo urbano.

- Evaluar la vulnerabilidad a las amenazas hidrometeorológicas y climáticas por parte de diferentes clases de ciudades (grandes áreas metropolitanas, ciudades intermedias y pequeñas localidades) y de sectores urbanos, con énfasis en el estudio de los asentamientos más pobres y vulnerables, la estructura edificada y los sistemas de infraestructura urbana (servicios sociales y de salud, agua potable, aguas residuales, energía, movilidad, y telecomunicaciones).
- Analizar el vínculo existente entre los eventos de desastre socionaturales y su relación con el cambio climático en las ciudades, tales como la elevación de temperatura, la sequía y la escasez de agua, la inundación de zonas costeras, vientos huracanados, marejadas y elevación del nivel del mar, y sus impactos en los sistemas regionales, ecológicos y urbanos. Igualmente analizar las respuestas de mitigación, resiliencia y adaptación ante esas amenazas, a través de acciones espontáneas o planificadas realizadas por distintos grupos de interés y por agencias gubernamentales de diferentes niveles de gobierno. Igualmente, evaluar la aplicación de estas acciones en el corto y mediano plazo.
- Identificar los nexos entre la mitigación y adaptación ambiental frente al cambio climático y los Objetivos de Desarrollo Sostenible, incluyendo el impacto de la forma urbana y la planificación espacial, la dinámica del ecosistema regional y del sistema urbano, el metabolismo urbano, la eficiencia en el uso de la energía y los recursos, el desarrollo local y regional, la infraestructura, los urbanismos y las edificaciones con procesos de certificaciones sostenibles, las innovaciones sociales y tecnológicas, el impacto en la biodiversidad, en las líneas de vida y en las poblaciones vulnerables.
- Evaluar “mecanismos de reducción profunda del uso del Carbono” a nivel de ciudades y regiones (“*Deep Decarbonisation Pathways*”, según la terminología del *Institute for Sustainable Development and International Relations*, IDDRI), analizando la producción y el consumo de energía en las ciudades en diversas actividades e instalaciones urbanas. Cabe aquí evaluar el uso de tecnologías más eficientes y menos contaminantes para la producción de energía eléctrica (gas natural, hidrológica, eólica, solar, biomasa, geotérmica, entre otras), para el transporte (vehículos de propulsión a hidrógeno, eléctricos y a gas, así como modos alternativos de transporte, como el uso de bicicletas), el alumbrado público (bombillos LED), calentadores de agua, aire acondicionado, calderas industriales, edificaciones residenciales, entre otras. En la evaluación de estos mecanismos debe considerarse el contexto social y económico, las formas de transferencia

tecnológica, los incentivos y las estrategias clave para producir sinergias entre organismos gubernamentales nacionales, regionales y locales.

II.3

- Diseñar opciones de adaptación para líneas vitales, infraestructura, sistemas ecológicos, económicos y sociales a escala urbana y regional, especialmente enfocados hacia los grupos sociales más vulnerables, así como mecanismos de gobernanza para impulsar tales opciones. Por ejemplo, diseño de soluciones autónomas de generación de energía para reducir la dependencia de líneas de distribución eléctrica muy largas o vulnerables (por ejemplo, paneles y calentadores solares), pequeños sistemas de suministro de agua potable, independientes de los grandes sistemas de la ciudad para atender áreas periurbanas (por ejemplo, tomas de fuentes superficiales cercanas y su correspondiente red de distribución), mecanismos de autogestión basados en la participación de las comunidades para fomentar el empoderamiento y la organización en asentamientos precarios (pequeños operadores de servicios públicos), participación de los municipios en la gestión de los servicios de electrificación, agua y saneamiento, entre otras opciones.
- Identificar conflictos y sinergias potenciales entre los objetivos de desarrollo sostenible, la reducción del riesgo de desastres y la construcción de resiliencia, adaptación y mitigación del cambio climático en las ciudades, a nivel del gobierno nacional, regional y local, así como mecanismos para lograr coordinación y coherencia entre las distintas autoridades. Por ejemplo, analizar si los programas de construcción de nuevas viviendas de interés social para reducir el déficit habitacional cumplen a la vez objetivos de sostenibilidad ecológica, evitando la intervención de entornos naturales, y reducen la vulnerabilidad social, reduciendo el riesgo de desastres siconaturales, identificando conflictos y realizando correctivos en nuevos desarrollos de vivienda.
- Estimar los costos económicos, ecológicos y sociales del cambio climático para la población urbana y los beneficios de adoptar acciones de mitigación y adaptación, en el corto y mediano plazo para distintos tipos de ciudades y para diversos tipos de asentamientos humanos (por ejemplo, estimar los costos en el PIB debido a la necesidad de reducir la jornada laboral a nivel nacional por efecto de las limitaciones de la generación eléctrica).
- Determinar las capacidades del gobierno nacional y de los gobiernos regionales y locales para abordar medidas de adaptación y mitigación al cambio climático, en el contexto de la implementación de medidas para el logro de los objetivos de desarrollo sostenible y de la reducción de riesgo de desastres, incluyendo la planificación, la financiación presupuestaria, la implementación y el monitoreo de las políticas.

- Evaluar el marco institucional, los instrumentos y las necesidades de financiamiento para llevar a cabo acciones de adaptación y mitigación al cambio climático a escala local, regional y nacional, incluyendo financiamiento intergubernamental, mecanismos fiscales, incentivos e instrumentos necesarios para potenciar inversiones del sector público y del sector privado, y promover cambios de comportamiento entre residentes, comunidades y empresas.
- Evaluar la implementación, monitoreo y la capacidad de aprendizaje de las medidas de mitigación y adaptación a escala nacional, regional y local entre diversos grupos de interés, autoridades, empresas, comunidades y residentes.
- Seleccionar y presentar casos de estudio que permitan conocer y difundir experiencias exitosas en la implementación y escalamiento de acciones en torno al cambio climático, incluyendo el rol de autoridades nacionales, regionales y locales, el compromiso de las empresas, las comunidades y las organizaciones para la creación y difusión de conocimiento, el desarrollo de capacidades, para diferentes tipos y tamaños de ciudades.

En este orden de ideas, una acción relevante para mejorar la respuesta del país frente a la reducción mundial GEI y los efectos perjudiciales del cambio climático, sería a través de una evaluación y redefinición de la Gran Misión Vivienda Venezuela, cuya ejecución de los principios de hábitats sustentables que se manejan a nivel mundial debería ser evaluado. El reto que se plantea en este capítulo, de adecuar a las recomendaciones del Foro C40 a la Gran Misión Vivienda Venezuela, de cubrir el déficit de viviendas estimado en más de 2 millones de viviendas, correspondiente a las necesidades de alrededor de un tercio de las familias venezolanas, sería un paso decisivo para lograr ciudades sustentables en el país. Si esta evaluación y reconducción del programa no se lleva a cabo, se estaría dejando pasar una oportunidad para obtener una reducción importante de la presión que implica el hábitat urbano como fuente principal de GEI, y una respuesta contundente a la minimización de la vulnerabilidad de las ciudades del país frente a amenazas socionaturales.

Desde el punto de vista legislativo se observa una oportunidad de establecer estos principios de mitigación y adaptación, a través de la posibilidad de aplicación de la Ley de Gestión Integral de Riesgos (Asamblea Nacional, 2009), cuyas disposiciones abarcan temas como la necesidad de información, la responsabilidad compartida entre diversos niveles de gobierno, la elaboración de planes de prevención, respuesta y reconstrucción, la obtención de financiamiento, las compensaciones y las sanciones.

A manera de ejemplo, el artículo 59 de la referida Ley, señala sanciones y penalidades a los funcionarios públicos que otorguen permisos u otro tipo de acto administrativo para la construcción de cualquier obra de infraestructura en zonas declaradas de riesgo o contribuya de algún modo a generar

II.3 situaciones de riesgo o desastre. En el artículo 60 se señalan sanciones y penalidades a las personas naturales o jurídicas que promuevan la construcción en zonas declaradas de riesgo, con inobservancia de las variables urbanas y de los planes de desarrollo local. En sus disposiciones finales esta Ley señala el plazo de un año al Consejo Nacional de Gestión Integral de Riesgos Socionaturales y Tecnológicos, para dictar las directrices para la formulación del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático, una tarea aún pendiente.

La actualización de políticas nacionales de gestión de riesgo es de suma importancia para establecer un cambio en el tratamiento de desastres en Venezuela, principalmente en las estructuras institucionales y los marcos normativos. El diseño de estrategias generales y específicas según las características de cada región de Venezuela, para la planificación y ejecución de actividades de reducción de riesgo, pueden dirigirse a establecer zonas prioritarias de intervención para los próximos diez años, período en el cual es de importancia hacer seguimiento y estudios para que los avances en gestión y planificación se sigan actualizando a lo largo del tiempo, conduciendo hacia un proceso de desarrollo sostenible (Comisión Europea *et al.*, 2014).

Como puede observarse, una premisa subyacente para avanzar en cualquiera de estas iniciativas, es la efectividad gubernamental, la cual podría lograrse a través del deslinde y coordinación de competencias gubernamentales bajo el principio de la descentralización, lo cual implica la atención del gobierno central a aquellos asuntos supralocales propios del Estado Nacional.

En efecto, algunos temas clave para una efectiva adaptación al cambio climático, tales como el manejo integral de cuencas, el abastecimiento urbano de grandes acueductos, la generación hidroeléctrica, y las políticas para el ordenamiento territorial de áreas vulnerables, trascienden jurisdicciones municipales y estatales, y por lo tanto se convierten en materia de atención del Gobierno Central; pero la efectiva implantación de las medidas de mitigación y adaptación al cambio climático requiere necesariamente de esfuerzos coordinados desde los niveles regionales y locales de gobierno.

No debe perderse de vista que la ciudad, además de ser un centro aglomerado de alta densidad de población, es un sistema complejo, difícil de regular, que requiere de una buena gestión ecológica, económica, social e institucional que considere sus potencialidades y su interdependencia en la globalización. Una gestión urbana sostenible implica un compromiso social, emprendimiento local, voluntad político-institucional, a través de procesos de formulación, transformación y seguimiento de políticas públicas que contribuyan a lograr este objetivo (Ornés, 2012).

II.3.7 Posibles acciones de mitigación y adaptación en el transporte urbano

Es importante destacar que los sistemas de transporte urbano motorizado que operan hoy en Venezuela, no cumplen con los principios universales de sostenibilidad. El logro de una movilidad sostenible debiera ser uno de los objetivos centrales de las políticas de transporte y de la planificación urbana en las ciudades venezolanas, donde el aumento de la demanda de transporte y de infraestructura vial, ha generado elevados niveles de congestión y de contaminación ambiental.

De igual forma, es relevante la necesidad de establecer como política general en la ciudad, el privilegio del transporte público sobre el vehículo particular. Incentivos al uso de unidades del transporte público, establecimiento de canales exclusivos para su circulación, privilegiar su acceso a centros urbanos, y otorgar incentivos por el uso intensivo del transporte público, garantizará la igualdad de condiciones de accesibilidad a todos los habitantes que conforman una ciudad.

Asimismo, deben reforzarse, destacarse y reconocerse, la movilidad no motorizada y la multimodalidad, como potenciadores significativos de la productividad y la competitividad de los ciudadanos, ya que disminuyen los tiempos de viaje y, por ende, reducen pérdidas económicas. Los lineamientos del Foro C40 efectuado en 2015, implicarían la adopción de una política efectiva para reducir emisiones, vía la optimización del transporte público, a través de la adopción de canales exclusivos tipo BRT y la adquisición de unidades de transporte con menos emisiones (C40 cities, 2015).

Es necesario favorecer el uso del transporte público y de modos de transporte alternativos (viajes en bicicleta y peatonales), ya que ello resultaría beneficioso tanto a nivel colectivo como a nivel individual, y permitiría la reducción de los gases de efecto invernadero. Si bien existen iniciativas en algunas ciudades del país, su implantación aún es tímida.

En la reducción de contaminantes atmosféricos, destacan de manera particular las ventajas que ofrecen los sistemas masivos de transporte público (metro, ferrocarriles, cables), que sirven a Caracas y a otras áreas metropolitanas del país. A la fecha se encuentran operativos varios sistemas subterráneos de impulsión eléctrica, pero sus planes de desarrollo se han visto rezagados en los últimos 10 años:

- En el Área Metropolitana de Caracas (3,1 millones de habitantes), el sistema Metro de Caracas (<https://www.metrodecaracas.com.ve/>) moviliza 2 millones de pasajeros diarios, tiene una extensión de 70,5 km y posee 48 estaciones. Los planes de expansión implican culminar la Línea 5, de 12,5 km adicionales y once estaciones para movilizar 100 mil pasajeros diarios, y el tren de cercanías Guarenas – Guatire, de 30 km adicionales y 7 estaciones para movilizar 125 mil pasajeros diarios.

- En el Área Metropolitana de Maracaibo (2,5 millones de habitantes), capital del estado Zulia, el sistema Metro de Maracaibo (www.metrodemaracaibo.gob.ve/) tiene una extensión de 6,5 km, posee 6 estaciones y moviliza 45 mil pasajeros diarios. Su plan de expansión supone 10 km adicionales, once nuevas estaciones, para movilizar 200 mil pasajeros diarios.
- En el Área Metropolitana de Valencia (2,3 millones de habitantes), capital del estado Carabobo, el sistema Metro de Valencia (www.metrovalencia.gob.ve/) tiene una extensión de 4,7 km, posee siete estaciones y moviliza aproximadamente 62 mil pasajeros diarios. Está prevista una extensión adicional de 9,9 km en la Línea 1, y 9 km en la Línea 2, más 24 estaciones adicionales, para movilizar unos 210 mil pasajeros diarios.
- En Los Altos Mirandinos (450 mil habitantes), parte de la Región Metropolitana de Caracas, de la cual forma parte Los Teques, capital del Estado Miranda, el Metro de Los Teques (www.metrolosteques.gob.ve/) posee cuatro estaciones, tiene una extensión de 11,2 km y moviliza aproximadamente 20 mil pasajeros diarios. En su desarrollo previsto el sistema tendría una longitud aproximada de 12,1 km adicionales, con 6 estaciones nuevas.
- En el Área Metropolitana de Caracas, el sistema Metro representa el 27% de los viajes diarios (CAF, 2011), pero los retrasos en su plan de desarrollo impiden una cobertura mayor del total de viajes diarios en la ciudad. A manera de ejemplo, la Línea 5 del Metro de Caracas permitiría la articulación del sistema hacia el sureste de la ciudad, el área que ha tenido el mayor crecimiento en las últimas décadas y en el que todavía se identifican áreas de posible urbanización, pero registra más de 5 años de retraso y no se vislumbra su culminación a término según los planes anunciados. Situaciones parecidas se registran en otras áreas metropolitanas del país donde existen sistemas masivos de transporte, limitando la posibilidad de disminuir los GEI en esas ciudades.

Respecto a la reducción de emisiones en el AMC, la movilización de 2 millones de pasajeros diarios en el Metro, si el sistema no existiera, implicaría unos 25 mil vehículos de transporte público (autobuses y minibuses) en el tránsito diario de la ciudad, más del doble de la oferta actual de este tipo de unidades. La reducción anual de emisiones GEI adjudicables a la operación actual del Metro de Caracas debe superar ciento cuarenta mil ($144,783 \times 10^3$) t CO₂ equivalente al año^{II.3.1}, y tal reducción se incrementaría si se culminan los proyectos ya previstos.

^{II.3.1} Si se adopta una media de 10 km para el recorrido de 25 mil vehículos, 2 viajes diarios (ida y vuelta), y un consumo de 3 litros de gasolina/km, el consumo total diario de gasolina sería de al menos 166.666 litros/día, lo que equivaldría a una producción diaria de unas cuatrocientas (396,66) toneladas equivalentes de CO₂ (a razón de 2,38 kg de CO₂ por litro de gasolina).

El Metro de Caracas incluye además otros sistemas complementarios de transporte que operan con electricidad que proporcionan gran beneficio para mejorar la movilidad de los habitantes en áreas informales de difícil acceso vehicular. Son teleféricos de cabinas, de los cuales operan algunos, pero sus planes de inversión se han detenido. Se tienen planificados los siguientes sistemas:

- Metrocable San Agustín: Atiende áreas informales situadas hacia el centro de la ciudad. Cuenta con 1,8 km de longitud y cinco estaciones. Inaugurado en 2010.
- Metrocable Antímano: Atenderá áreas informales situadas al oeste de la ciudad. Contará con 3,8 km de longitud y ocho estaciones. Se propuso iniciarlo en 2014 e inaugurarlos en 2017, pero el plan de inversión se encuentra rezagado.
- Metrocable Mariche: Atiende áreas periféricas al este de la ciudad. Se extiende por 4,8 kilómetros y posee capacidad para 36 mil pasajeros diarios. Se inauguró una primera etapa en 2012; aún faltan por completar 13,2 km del sistema.
- Metrocable La Dolorita: Atenderá áreas periféricas al este de la ciudad. Se extenderá por 3,6 kilómetros y constará de tres estaciones. Se previó inaugurarlos en 2014, pero se encuentra rezagado en su plan de construcción.
- Metrocable San Blás-Petare Sur: Atenderá áreas periféricas al este de la ciudad. Se extenderá por 4,8 kilómetros y constará de cinco estaciones. Se previó inaugurarlos en 2016, pero se encuentra rezagado.
- Cable tren Petare: Atiende áreas informales al este de la ciudad. Se extiende por 2,1 km y lo integran tres estaciones. Inaugurado en 2013; aún faltan por completar 2,1 km y dos estaciones adicionales.

La operación plena de estos sistemas de transporte tipo cable, los cuales en su conjunto pueden transportar aproximadamente a 90 mil pasajeros diarios, implica una reducción de más de mil (1.125) vehículos de transporte público en el tránsito diario de la ciudad. La reducción de emisiones GEI adjudicables a la operación plena del transporte tipo cable en el AMC sería no menor de tres mil (3,258 x 10³) t CO₂ equivalente al año^{II.3.2}, y su operación beneficiará a unos 450 mil habitantes de asentamientos precarios.

^{II.3.2} Los recorridos varían de 2 a 8 km. Si se adopta una media de 5 km para ese número de vehículos, 2 viajes diarios (ida y vuelta), y un consumo de 3 litros de gasolina/km, el consumo total diario es de 3.750 litros/día, lo que equivale a una producción diaria de 8,925 toneladas equivalentes de CO₂ (2,38 kg de CO₂ por litro de gasolina).

Respecto al sistema ferroviario para el transporte interurbano de carga y de pasajeros, el retraso en la culminación de obras es mucho mayor (Páez-Pumar, 2016), por lo cual los beneficios en la reducción de emisiones aún no son apreciables. Los sistemas ferroviarios existentes y previstos son los siguientes:

- Sistema Ferroviario Centro Occidental. Tramos Acarigua - Yaritagua – Barquisimeto - Puerto Cabello – Morón. Posee una longitud de 383 km, con una demanda de 1 mil pasajeros diarios y de 2,6 Millones de Toneladas /año de carga. Cubre varias localidades de los estados Carabobo, Falcón, Lara, Yaracuy y Portuguesa. Se prevé ampliar su cobertura hacia el estado Falcón. Fue construido en la década de los años '50, y ha funcionado de manera interrumpida por tramos, debido a trabajos de rehabilitación bastante atrasados en su ejecución.
- Sistema Ferroviario Central. Tramo Caracas-Cúa. Posee una longitud de 41,4 Km para atender una demanda de 140 mil pasajeros diarios. Cubre varias localidades del estado Miranda y el Área Metropolitana de Caracas. Inició su operación comercial en 2006. Su enlace con el tramo ferroviario Puerto Cabello -La Encrucijada, para facilitar transporte de carga y pasajeros, se encuentra retrasado.
- Sistema Ferroviario Central. Tramo “Puerto Cabello -La Encrucijada”. Posee una longitud de 183 km y abarcará varias localidades de los estados Aragua y Carabobo. Se prevé una demanda de 50 mil pasajeros diarios y de 11,68 millones de Toneladas/año de carga. Su construcción se encuentra avanzada en un 40%, pero presenta un importante retraso en su construcción, pues su culminación se preveía originalmente para el año 2012.
- Sistema Ferroviario Centro Oriental. Eje Norte Llanero. Tramo “Tinaco - Anaco”. Posee una longitud de 468 Km y abarcará varias localidades de los estados Cojedes, Guárico, Aragua y Anzoátegui. Se prevé una demanda de 15 mil pasajeros diarios y de 9,8 Millones de Toneladas /año de carga. Su construcción se inició en 2009 y presenta un avance de 26% en 2015. Su inauguración estaba prevista para el año 2012, pero la obra está detenida.
- Sistema Ferroviario Centro Oriental Eje Centro Sur. Tramo Chaguaramas - Las Mercedes – Cabruta. Posee una longitud de 201 Km y abarcará varias localidades del estado Guárico. Se prevé una demanda de 7 mil pasajeros diarios y de 2,8 Millones de Toneladas /año de carga. Su avance en 2015 es del 20%, pero presenta un importante retraso en su construcción, cuya culminación se preveía para el año 2014.
- Sistema Ferroviario Centro Oriental Eje Centro Sur. Tramo San Juan De Los Morros – San Fernando De Apure. Posee una longitud de 252 Km y abarca varias localidades de los estados

Guárico y Apure, para atender una demanda 7 mil pasajeros diarios y el transporte de 2,8 Millones de Toneladas /año de carga. Se inició en 2006 y su avance se estima en 30% en 2016. Se preveía culminarlo en 2013, pero su construcción está muy rezagada.

II.3.8 Experiencia en la toma de decisiones

Para reducir emisiones GEI y atender los efectos del cambio climático en las ciudades, sería necesario adoptar un enfoque transdisciplinario que orqueste y optimice acciones en la gestión pública, pues muchas posibles actividades en los sectores: energía, agua potable, salud pública, gestión de riesgos, ordenamiento territorial y transporte, requieren de la formulación de políticas públicas, concebidas desde distintas perspectivas disciplinares, participativas y acompañadas de una acción coordinada entre los diferentes niveles gubernamentales (García, 2009).

Una revisión del marco jurídico venezolano, desde la Constitución Nacional y pasando revista a leyes orgánicas, leyes ordinarias, decretos, resoluciones, y ordenanzas municipales, permite aseverar que, desde el punto de vista legal, no existirían impedimentos para diseñar una política efectiva en las áreas urbanas para encarar el cambio climático a través de acciones de mitigación y adaptación. Un ejemplo de ello, en el ámbito nacional, lo constituye el ordenamiento territorial para las zonas costeras en Venezuela, en donde se ha avanzado en la definición de un “Plan de Ordenación y Gestión Integrada de las Zonas Costeras” (POGIZC), incluyendo estudios de base tales como “Implicaciones del Cambio Climático en las Zonas Costeras y el Espacio Acuático de Venezuela”, “Riesgos Socionaturales y Tecnológicos en las Zonas Costeras de Venezuela” y “Dominio Público en las Zonas Costeras de Venezuela: Criterios para su Delimitación” (República Bolivariana de Venezuela, 2015). Aún se desconocen los resultados y las recomendaciones de estos estudios.

Incluso la política gubernamental expresada en el propio Plan de la Patria 2013 -2019 (Asamblea Nacional, 2013), es proclive a estas acciones. El plan señala la “preservación de la vida en el planeta” como un objetivo a perseguir (objetivo histórico V), por lo que el diseño e implantación de acciones en las ciudades y el transporte para mitigar el cambio climático y adaptarse a sus efectos, son cónsonas con la gestión gubernamental. No obstante esa finalidad, la identificación que hace el referido plan acerca de las causas que originan el cambio climático en la pugna entre el modelo capitalista versus el modelo socialista de desarrollo, resta voluntades y limita opciones para lograr que toda la sociedad venezolana se vea representada y conjugue sus esfuerzos junto al gobierno en la dirección deseada. Ello es particularmente importante, cuando algunos gobiernos regionales y locales del país son liderados por partidos de diversas tendencias políticas.

En tal sentido, convendría tomar distancia de posturas ideológicas que sesguen los esfuerzos, reconociendo que tanto en las economías orientadas al mercado como en las inspiradas en el control estatal, se producen aciertos y se cometen desaciertos. Igualmente es indispensable adoptar una estrategia descentralizada en la toma de decisiones, de manera de incorporar a los distintos niveles gubernamentales de carácter nacional, regional y local en el ensayo de soluciones.

Al respecto, es necesario recordar que para la legislación venezolana vigente, a través de la Ley Orgánica del Poder Público Municipal, (artículo 56) los municipios tienen competencias en materia de energía (electricidad, gas doméstico y alumbrado público), agua y saneamiento (agua potable, canalización y disposición de aguas servidas, y alcantarillado de aguas pluviales), salud pública (salubridad y atención primaria en salud), gestión de riesgos (protección del ambiente, cooperación en el saneamiento ambiental, protección civil y bomberos), ordenamiento territorial y urbanístico, y transporte (vialidad urbana, circulación y ordenación del tránsito de vehículos y personas en las vías municipales y servicios de transporte público urbano).

Sin embargo, para que los gobiernos locales de las ciudades venezolanas, ejerzan estas competencias en forma plena, e instrumenten acciones dirigidas a la reducción de emisiones y a la aplicación de medidas de mitigación y resiliencia frente al cambio climático, es indispensable la cooperación del gobierno nacional, lo cual no ocurre debido a la orientación centralista de la gestión gubernamental, que se inclina hacia reducir al mínimo la gestión local de los municipios, tal como se demostró en el intento de reforma constitucional rechazada por la población en el referéndum de 2007 (Banko, 2008).

Un camino fértil para instrumentar acciones parecería ser a través de la acción popular, ya que la vulnerabilidad en la que se encuentran los centros poblados y la magnitud de un desastre natural a la hora de activarse una amenaza, son fundamentalmente un constructo social. Urge instrumentar actividades de formación y educación para la población en general, que permitan la consolidación de una verdadera “cultura del riesgo”, apostando así a la creación de una responsabilidad social y colectiva (Genatios & Lafuente, 2006).

Respecto a la “Primera Comunicación Nacional en Cambio Climático de Venezuela” (MARN, 2005), dentro de la estrategia general para lograr el desarrollo sostenible y la erradicación de la pobreza, se considera que la participación ciudadana es el lineamiento de acción más importante que se está implementando como vía para lograr el cumplimiento efectivo de todas las políticas. Las Misiones del gobierno nacional son señaladas como las estrategias más eficaces para abordar los retos del desarrollo sostenible y la mitigación y adaptación al cambio climático. Más allá de cuestionar la efectividad y continuidad de estas Misiones, resultó evidente que la manera de implantar estas políticas consistió en

una relación directa entre el gobierno nacional y las comunidades, sin mediar la participación de gobiernos regionales y locales, lo cual les restó efectividad.

En la “Declaración de Margarita sobre Cambio Climático” (PreCOP Social, 2014), la cual debía presentarse ante la ONU en la COP21 de París, en 2015, se señala que el tema ambiental es un tema político, y que es deber de los gobiernos y del sistema multilateral escuchar las voces de los pueblos. En tal sentido, bajo el argumento de que son los pueblos los que sufren las consecuencias del cambio climático, y que los países en vías de desarrollo sufren mayores consecuencias que los países desarrollados frente al cambio climático, se enumeran varias exigencias que, en términos generales, abordan la equidad intergeneracional y los derechos de las generaciones futuras, la propuesta del Buen Vivir, la Ética Climática, el impacto social del cambio climático, la participación social en la toma de decisiones, la acción directa de las comunidades, las responsabilidades Norte-Sur, y los compromisos del Norte para potenciar acciones en el Sur.

Las consideraciones particulares sobre las ciudades y los ciudadanos se refieren a mecanismos de información y plena participación, a escala nacional e internacional, así como a implementar sistemas de gobierno y planificación participativos, de territorios y ciudades, asegurando el acceso justo y sustentable a la tierra y a los servicios urbanos, así como a otros medios necesarios para afrontar los impactos del cambio climático.

II.3.9 Casos de estudio

A continuación, se reseñan 12 Casos de Estudio, que reportan valiosos datos, evidencias y consecuencias del cambio climático en algunas ciudades venezolanas. Los casos están relacionados con incrementos de temperatura, precipitaciones y olas de calor en áreas urbanas, vulnerabilidad de áreas urbanas costeras por el incremento esperado del nivel del mar, propagación de enfermedades, metabolismo urbano y gestión urbana. Con esta breve reseña es plausible tener una buena aproximación acerca de las acciones, las experiencias y sus aprendizajes, así como las necesidades, opciones y propuestas que la comunidad científica, técnica y del ámbito gubernamental del país, está llevando a cabo en áreas urbanas para atender las demandas e implicaciones del cambio climático. Para mayor detalle de cada caso seleccionado, se sugiere revisar la lista de referencias de este capítulo.

- **Caso de estudio 1.** Gil *et al.* (2013). Realizado en la ciudad de Maturín, Edo. Monagas con análisis de registros y análisis estadísticos de temperatura y pluviosidad entre los años 1951 y 2005 (55 años de registros).

Hallazgos relevantes	Conclusiones y propuestas
Se identifican cambios significativos en la variable temperatura mínima para períodos anuales secos y lluviosos, cambios bruscos en temperatura máxima en períodos lluviosos y estabilidad en la precipitación media anual.	Las causas de la elevación de los valores de temperatura mínima local se pueden deber tanto al efecto del calentamiento global como a los procesos de urbanización y deforestación que se han presentado en Maturín en los últimos años.
Respecto a la precipitación media anual, se reporta una tendencia decreciente en el período seco (aprox. 0,275 mm/anuales) y creciente en los períodos anual y lluvioso de 1.134 mm/anuales y 1.407 mm/anuales, respectivamente.	
Respecto a la temperatura mínima, señalan una tendencia de aumento significativo (al 5 % de probabilidad), para los períodos anual, seco y lluvioso, con un orden aprox. de 0,031°C; 0,030°C y 0,031°C, respectivamente.	

- **Caso de estudio 2.** Córdoba (2012). Realizado en la ciudad de Caracas. Se identifican las olas de calor urbano, las sequías extremas y los incendios forestales como factores que estimulan el cambio climático, los cuales han aumentado durante lapso analizado de 11 años.

Hallazgos relevantes	Conclusiones y propuestas
Respecto a la intensidad y extensión de las islas térmicas que se han ido creando dentro de Caracas en el período 2001 - 2011, detectan grandes diferencias en algunas áreas, debido al aumento desproporcionado de superficies urbanizadas con poca cobertura vegetal.	Estas modificaciones magnifican el cambio, alterando el balance superficial y produciendo aumento significativo de temperaturas en ciertas zonas urbanas de Caracas.
Según estudios precedentes de la temporada de sequía en los años 2001 y 2003 y el análisis de las variaciones estacionales del fenómeno de isla térmica superficial, en el mes de octubre de 2009 respecto a marzo del 2010, se detecta un aumento progresivo en la intensidad y extensión en el fenómeno de isla térmica en la ciudad, alcanzando un nivel máximo durante el evento de calor de marzo del 2010, categorizado como la peor situación ambiental observada en Caracas, en una década de estudios ambientales con sensores remotos.	

- **Caso de estudio 3.** Naveda (2011). Realizado para varias áreas de la zona costera del país, respecto al incremento del nivel del mar. El autor reporta las zonas urbanas costeras del país que presentarían la mayor vulnerabilidad ante la expectativa de un aumento en el nivel del mar según estudios realizados en el país en la década de los noventa.

Hallazgos relevantes	Conclusiones y propuestas
El estudio parte de la premisa, de que en la costa venezolana la elevación del nivel del mar cambiará 2 mm/año (IPCC,2007), lo cual implica que un incremento de 1 metro tardará unos 500 años.	El país tiene tiempo para adaptarse a futuras situaciones si dichos procesos no se aceleran, aunque algunas áreas podrían verse afectadas más temprano.
Estima que las parroquias costeras con alto y muy alto riesgo al aumento del nivel del mar son: en el estado Zulia, las parroquias asociadas a la ciudad de Maracaibo y en el estado Sucre, las parroquias pertenecientes a la ciudad de Cumaná.	Se debe prestar atención a la costa oriental del Lago de Maracaibo que, siendo una llanura costera, presenta una elevada amenaza de inundación por fenómenos de subsidencia causados por la extracción de hidrocarburos en la zona.
Las ciudades costeras que presentan elevada vulnerabilidad son: Maracaibo, Cabimas, Lagunillas y Ciudad Ojeda en el Zulia; Puerto Cabello y El Palito en Carabobo; Maiquetía en Vargas; la conurbación conformada por Barcelona, Puerto La Cruz, Pozuelos, Guanta y Pertigalete en el estado Anzoátegui; Cumaná en Sucre; y finalmente Porlamar y Pampatar en Nueva Esparta.	Posibles riesgos en localidades alejadas de la costa: Maturín, aun cuando está a casi 200 Km de la costa, se encuentra sobre terrenos de alta y muy alta amenaza de inundación.

- **Caso de estudio 4.** Grases *et al.* (2004). Vulnerabilidad ante amenazas naturales de algunas poblaciones costeras de la ciudad de Cumaná, Edo. Sucre.

Hallazgos relevantes	Conclusiones y propuestas
Las amenazas naturales más tangibles son las sísmicas y las de origen hidrometeorológico.	Se recomiendan estudios específicos que permitan orientar mecanismos estructurales preventivos y planificar nuevas estrategias de desarrollo urbano, aprovechando las condiciones de baja densidad poblacional de Cumaná.
Las obras de protección hidráulica construidas en la década de los años setenta en el río Manzanares han reducido al mínimo la amenaza de inundaciones.	Bajo escenarios de precipitaciones excepcionales, el dique de la ciudad se mantiene operativo hasta crecidas de unos 3000 m ³ /seg, asociadas a períodos medios de retorno en exceso de unos 6 mil años, con lo cual el riesgo de inundación de la ciudad es marginal.
La amenaza de tsunamis y marejadas no está suficientemente estudiada.	Tomando en cuenta que la ciudad ha sufrido daños en el pasado por esta causa (años 1530, 1853, 1900 y 1929), recomiendan ahondar este tipo de análisis.

- **Caso de estudio 5.** Olivo *et al.* (2010). Realizado en la zona costera del Estado Miranda (área Cabo Codera-Laguna de Tacarigua) para determinar la vulnerabilidad de esta zona ante un incremento de 50 cm en el nivel del mar.

Hallazgos relevantes	Conclusiones y propuestas
Para el año 2100 existirá una proporción importante de habitantes (34%) y viviendas (27 %) en situación de riesgo a causa del potencial incremento de 0,5 metros del nivel del mar en el área Cabo Codera-Laguna de Tacarigua.	El retroceso de la línea costera con la pérdida de tierra asociada, también incidiría en la biodiversidad, ciclos biogeoquímicos y la salud de los habitantes del área de influencia del impacto por aumento en el nivel del mar.
Se afectarían los activos de mayor relevancia del Eje Higuerote – Carenero, incluyendo la sede del Gobierno Municipal, del Cuerpo de Bomberos, las principales avenidas comerciales, muelles, instalaciones turísticas y espacios públicos, las instalaciones de alcantarillado sanitario e incluso el bombeo de aguas residuales y el drenaje de pequeños cursos de agua que atraviesan estas localidades, como el caño Ganga, cuyo represamiento inundaría buena parte de la ciudad.	

- **Caso de estudio 6.** Bruzual & Mora (2014). Realizado en el Barrio Merecure de Ciudad Bolívar, capital del estado Bolívar. Vinculado a los efectos del cambio climático en la salud en áreas urbanas, el trabajo es un ejemplo de que cada zona tiene una calidad ambiental y vulnerabilidad específicas que pueden incidir en la existencia de ciertas enfermedades metaxénicas y que podrían incrementarse con las alteraciones generadas por el cambio climático.

Hallazgos relevantes	Conclusiones y propuestas
En el Estado Bolívar, las enfermedades metaxénicas hacen su aparición con mayor incidencia de mayo a noviembre, época cuando se presentan fuertes lluvias, produciéndose inundaciones de considerable magnitud, con amenaza epidemiológica que afecta a los sectores marginales con alta densidad poblacional.	Se alerta acerca de las deficiencias en el registro epidemiológico de enfermedades por parte de los organismos responsables, lo cual debilita una respuesta oportuna.
En la parte norte de Ciudad Bolívar existen treinta y siete (37) sectores que se encuentran en el área de inundación del río Orinoco. El barrio Merecure presenta condiciones favorables para el desarrollo de insectos transmisores de enfermedades, por cuanto en los patios de algunas viviendas del sector y en terrenos vacantes se forman pequeños charcos de agua.	

Continuación Caso de estudio 6

Hallazgos relevantes	Conclusiones y propuestas
De acuerdo a los registros epidemiológicos, para el período enero del año 2009 a diciembre del año 2010 se registraron sólo dos (2) casos de Dengue, mientras que en el año 2010, se registraron tres casos (3). En contraposición, una consulta retrospectiva a los pobladores reporta dieciséis (16) casos de Dengue clásico en el año 2010.	Existe un importante sub registro en la vigilancia epidemiológica, observándose además que el mayor número de los reportes coinciden con los meses de mayor precipitación.
Los datos obtenidos a partir de los informes epidemiológicos están publicados por parroquias y municipios; situación que no refleja la naturaleza epidemiológica real en sectores o barrios vulnerables a inundaciones.	En los informes semanales del ambulatorio urbano tipo I La Shell no se visualizan los perfiles reales de las enfermedades transmitidas por vectores para el barrio Merecure, área que pertenece a este centro de salud.
Entre los factores de riesgo que contribuyen a la proliferación de estas enfermedades destacan los educativos y ambientales, particularmente la presencia de agua permanente en los patios y terrenos vacantes.	Se propone el desarrollo de programas educativos y de saneamiento ambiental.
	Se exhorta a seguir las recomendaciones OMS, a fin de que las comunidades organizadas, a través de los Consejos Comunales, puedan elaborar sus propios sistemas de cogestión de Salud con el Poder Público, para la prevención y lucha contra las epidemias.
	Una vigilancia epidemiológica más acuciosa sería la mejor vía para el monitoreo y control de las enfermedades metaxénicas.

- **Caso de estudio 7.** Rifakis *et al.* (2005). Realizado en el Hospital Pérez de León de Caracas (HPL). Se abordaron aspectos relacionaos con la epidemiología del Dengue, a la luz del análisis estadístico de las variaciones climáticas y el ingreso de pacientes con esta enfermedad

Hallazgos relevantes	Conclusiones y propuestas
Para el período estudiado (1998-2004) se registraron en el HPL un total de 2187 casos de Dengue, 1875 (85,7%) de Dengue Clásico y 312 (14,3%) de Dengue Hemorrágico, con una media anual de 267,86 casos y una media mensual de 14,2 casos/mes.	Los años 2000 y 2001 correspondieron climáticamente con el fenómeno de La Niña, que se traduce en un incremento en las precipitaciones, particularmente en los meses de junio a agosto. Al comparar la incidencia del dengue durante los años No El Niño y El Niño, se observó una mayor incidencia del Dengue en los primeros (60,26% más que la media) en comparación con los segundos, donde se observó disminución en comparación con la media (-67,56%) (c2=21,76; p<0,01), siendo aún mayores las diferencias durante los dos primeros trimestres de los años en comparación.
El año con el mayor número de casos fue el 2001, hasta con 214 casos/mes (en los meses de junio y julio), con un total de 1156 casos acumulados para dicho año.	
Al calcular el ciclo mensual de los casos de dengue reportados en el HPL en el período estudiado, se aprecia que el mayor número de casos se producen en los meses de junio y julio (43,4 y 40,9 casos en promedio), en los cuales para el período estudiado se acumularon 590 casos, lo que representa 26,98% del total.	
Se encontró una asociación significativamente positiva entre la incidencia del Dengue y el fenómeno de La Niña, así como su traducción en las precipitaciones: a mayores precipitaciones, mayor incidencia de la enfermedad.	Estos resultados explican en parte la existencia de condiciones ambientales favorables (muchas veces con un fuerte factor o componente social) para la reproducción del <i>Aedes aegypti</i> , en el contexto de variaciones climáticas vinculadas a los fenómenos Niño-Niña, y que eventualmente pudieran tener relación también con el cambio climático.
Se encontró una relación negativa entre la incidencia de la enfermedad y las temperaturas máximas notificadas para la ciudad de Caracas, donde a mayores temperaturas menor incidencia de la enfermedad.	

- **Caso de estudio 8.** Martínez *et al.* (2013). Realizado en la Región Metropolitana de Caracas (RMC), en relación con el metabolismo urbano. Se se analizaron los ciclos del agua, energía y materiales para determinar el ingreso, procesamiento y salida de estos recursos en esta zona de la capital.

Hallazgos relevantes	Conclusiones y propuestas
Ciclo del Agua. La AMC consumió en 2011 25,59 m ³ /seg que captó de la cuenca del río Tuy, de la cuenca del río Guárico y de algunas fuentes propias en el AMC.	De mantenerse las tendencias históricas de consumo/habitante a 20 años desde el 2011, la provisión per cápita aumentará de 488 a 563 litros/día, y la captación de aguas frescas podría aumentar a 33,14 m ³ /seg para atender a una población de 5 MM de habitantes.
Respecto a la generación de efluentes (estimada en un 80% de la demanda de agua potable) aumentará, con el agravante de que en 2011 no se reciclan ni se depuran aguas residuales antes de descargarlas al ambiente, a pesar de los planes existentes (proyecto Guaire).	Urge reducir consumo hacia una dotación deseable de 332 lpd (eq 20,18 m ³ /seg). Implica racionalizar el consumo, disminuir pérdidas en la red de distribución, reciclar aguas servidas para fines industriales y de riego, y evitar la contaminación de cuerpos de agua con descargas de efluentes no tratados.
Ciclo de la Energía. La RMC consumió en 2011, 9.827 GWh anuales (eq. consumo de 5,71 Kwh/hab/día) requiriendo 2.680 Mw, de los cuales 2.180 Mw provienen de plantas a gasoil y diésel de generación termoeléctrica en los estados Vargas y Miranda. Mientras que 500 MW proceden del Sistema Interconectado Nacional (centrales hidroeléctricas de Guri, Macagua y Caruachi).	Existe una dependencia de fuentes de generación eléctrica alejadas 800 kms de la RMC. Las emisiones originadas por la producción termoeléctrica se estiman para 2011, en 8,32 x 106 t CO ₂ /anual, lo que equivale a un índice de 1,76 t CO ₂ /hab/año. Se propone aumentar las tarifas de consumo, el cambio en el rendimiento eléctrico de equipos industriales, comerciales y residenciales, sustituyendo turbinas de diesel por turbinas a gas y realizando mejoras en el alumbrado público. La optimización del metabolismo urbano del RMC en relación a la energía eléctrica, disminuye la vulnerabilidad de los sistemas de generación, transmisión y distribución eléctrica, y contribuiría a reducir las emisiones de GEI.
Consumo de combustibles fósiles (incluyendo gasolina de motor, diésel y gasóleo, GLP y otros combustibles). El consumo de 81.985 barriles/día registrado en 2011 podría ↑ a 87.550 barriles/día en 2031, con un índice de consumo de 2,76 lts/hab/día que podría ↓ levemente a 2,65 lts/hab/día.	Se requieren fuentes no tradicionales: pequeñas plantas hidroeléctricas, paneles solares, plantas eólicas y biogas, principalmente para atender localidades rurales remotas dentro de la AMC donde los sistemas de distribución de electricidad generalmente son ineficientes. Las emisiones resultantes en 2031 por generación de energía eléctrica serían de 8,18 x 106 t CO ₂ /anual, con un índice de 1,56 t CO ₂ /hab/año. Si no se corrige el patrón de movilidad terrestre, que privilegia la circulación de autos particulares y de unidades de transporte público contaminantes, las emisiones de CO ₂ aumentan de 12,86 x 106 t CO ₂ /anual a 13,74 x 106 t CO ₂ /anual.
Promocionar una movilidad más sostenible (transporte público con mayor cobertura y frecuencia), y la sustitución de equipos con mayor eficiencia energética y menores emisiones, en 20 años el consumo de combustibles fósiles de la RMC podría disminuir a 69.848 barriles/día (índice de consumo de 2,11 lts de combustible/hab/día), y una generación de emisiones de 8,18 x 106 t CO ₂ /año, una reducción del 36% de las emisiones estimadas en 2011.	Una acción para racionalizar el consumo de combustibles fósiles contribuiría en forma relevante a la ↓GEI en la RMC.
Ciclo de Materiales. El total de materiales que ingresan a la RMC fue estimado para el 2011 en 23.086,41 t/día, de los cuales más del 90% serían insumos importados, no producidos en la RMC. El volumen de insumos que ingresa representa unos 4,89 kg/día/hab. Una gran parte de esos insumos se consume y el resto se desecha. La producción de desechos asociada a este consumo es de 6.179,80 t/día, lo que implica una generación de 1,32 kg/hab/día.	Si los patrones de consumo de bienes aumentan se estima en 20 años hasta 2031, unos 5,39 kg/hab/día. La recolección diaria de desechos podría aumentar hasta 1,76 kg/hab/día. Si se mantiene el comportamiento ambiental actual, en 20 años aumentaría la degradación ambiental de espacios naturales, así como también las emisiones GEI.
El reciclaje de materiales (vidrio, aluminio, materiales ferrosos, algunos plásticos y papel) alcanza unos 56,41 t/día, lo cual representa el 0,24% del total de materiales que consume la RMC.	Recuperar 20% de materiales reciclables es alcanzable. Podría esperarse que el ingreso total de materiales se mantenga en niveles similares a los de 2011, lo que reflejaría un ingreso de 4,48 kg/hab/día. La producción de residuos y desechos podría disminuir a 1,24 kg/hab/día, de contar con una política intensiva de recuperación de materiales (representaría el 22% del total de insumos que requiere la RMC). Los esfuerzos en mejorar el metabolismo urbano en la RMC en lo relativo al Ciclo de Materiales deberían centrarse en ↑al máximo el reciclaje y la recuperación de materiales, así como en mejorar la recolección y disposición final adecuada de los desechos.

- Otros tres estudios se han enfocado en proponer soluciones para enfrentar el problema del cambio climático en áreas urbanas; se presentan a continuación.

Hallazgos relevantes	Conclusiones y propuestas
Rangel y García (2009), en la ciudad de Mérida, estado Mérida, identifican como una debilidad para enfrentar el cambio climático la baja proporción de áreas verdes de la ciudad frente a la alta densidad poblacional de sus áreas construidas. Mediante grupos de estudiantes organizados para realizar intervenciones sencillas de plantío de especies vegetales ornamentales en el centro de la ciudad de Mérida, se exploró incorporar al ciudadano al elemento natural, comprometerlo a su cuidado y mantenimiento, concientizarlo sobre su obligatoria presencia y manejo racional para incidir favorablemente en el cambio climático, reactivar la necesidad de exigir calidad del espacio público e incentivar en el estudiante una mayor sensibilidad ambiental.	El estudio aboga por la concienciación de la ciudadanía a través del Servicio Comunitario Estudiantil de la Universidad de los Andes, el cual permitiría señalar a las comunidades distintas oportunidades de intervención para rescatar áreas verdes, fomentando así una conciencia conservacionista en los centros urbanos principales.
Proyecto Bosques de la Universidad Simón Bolívar (USB) en la RMC (https://guardabosquesusb.wordpress.com/tag/reforestacion).	Estudiantes universitarios cumplen servicio comunitario realizando labores de reforestación de bosques cercanos a la ciudad de Caracas, de manera regular desde 2008 a través del programa Guardabosques Voluntarios de la Universidad USB, con el patrocinio de instituciones públicas y privadas.
Siem (2012). Certificación ambiental de edificaciones por parte de organismos municipales responsables del control urbano.	Aunque en esta materia no se ha avanzado mucho en el país, sí se han iniciado investigaciones con el apoyo de entes oficiales (FONACIT) con miras a establecer alianzas entre universidades, alcaldías, instituciones reguladoras, expertos nacionales y extranjeros para proponer un sistema de certificación ambiental que incluya consideraciones de eco-construcción, eco-gestión, salud y confort.
Alcaldía Metropolitana de Caracas, (2012). Identifica como propuesta para propiciar la adaptación metropolitana al cambio climático, la conformación del Espacio-Plan de la Región Metropolitana Sustentable de Caracas (REMSCA).	Mediante el Plan Estratégico Caracas Metropolitana 2020 se podría mejorar la seguridad alimentaria, restringir los cambios de usos que afectan la cubierta vegetal y mejorar los índices de vulnerabilidad geológica que en estos momentos registra la metrópoli caraqueña.
De Lisio (2015). CENDES UCV	Se desarrolla una propuesta geo-eco-socio-económica para la adaptación local al cambio climático que cuenta con el financiamiento de FONACIT.

II.3.10 Resumen de riesgos clave y emergentes

A continuación se esbozan unas breves líneas, a la luz de las evidencias presentadas en este capítulo, sobre algunos riesgos clave y emergentes que comporta el cambio climático para las áreas urbanas y el transporte en Venezuela.

El incremento del nivel del mar en la costa venezolana, implicará prestar especial atención a las poblaciones costeras y ribereñas del país, y en especial a las siguientes: a) La ciudad de Maracaibo y las poblaciones situadas en la Costa Oriental del Lago; b) las pequeñas poblaciones ubicadas en la costa oriental del Estado Falcón; c) las poblaciones de Higuerote y Carenero, y otras pequeñas localidades ubicadas en la llanura costera entre Cabo Codera y la Laguna de Tacarigua; d) el área metropolitana de Barcelona-Puerto La Cruz en el estado Anzoátegui; e) distintos sectores de la Isla de Margarita, Playa el Agua y Juan Griego en el estado Nueva Esparta; y f) las ciudades ribereñas de Ciudad Bolívar, Ciudad Piar, Puerto Ordaz y Maturín en los estados Bolívar y Monagas.

Como riesgo emergente se considera al impacto en la salud pública debido al aumento esperado de enfermedades metaxénicas ante un incremento de la pluviosidad, por lo cual se advierte la necesidad de reforzar y mejorar los reportes de vigilancia epidemiológica y de realizar acciones de drenaje y saneamiento urbano en varias ciudades del país.

Respecto a las lecciones aprendidas, aunque en los últimos años se han desarrollado labores de recuperación post-desastre asociados a los eventos hidrometeorológicos de 1999 y 2005, éstas no han seguido en su totalidad lo recomendado en estudios y proyectos relativos a acciones de reordenamiento territorial y obras de protección hidráulica. Existen experiencias favorables de acciones de mitigación de áreas vulnerables en décadas anteriores, como el caso de las obras hidráulicas del río Manzanares realizadas en Cumaná en los años setenta, que muestran evidencias concretas de su potencial para minimizar riesgos por inundaciones.

La lentitud y no conclusión de las inversiones previstas para mitigar la emisión de GEI a través de la culminación de proyectos hidroeléctricos, la conversión a gas de plantas termoeléctricas y los proyectos de transporte urbano e interurbano, representan riesgos latentes que pueden magnificar la vulnerabilidad ya existente en los sectores energéticos del país comprometiendo la prestación de los servicios de agua, electricidad y transporte y la capacidad del estado para cumplir sus obligaciones con la agenda del clima, particularmente la agenda para ciudades sostenibles.

II.3.11 Conclusiones

- Los impactos del cambio climático ya son evidentes en todas las áreas urbanas de Venezuela, fundamentalmente en los sistemas de generación hidroeléctrica y de provisión de agua potable.
- Durante los años 2001, 2003, finales de 2009 e inicios de 2010, y en un período análogo de los años 2015 - 2016, sequías excepcionales asociadas al fenómeno El Niño, limitaron la disponibilidad de agua en embalses, afectando negativamente el suministro de energía eléctrica y de agua potable por varios meses.
- Otro impacto previsible tiene que ver con la severidad de las lluvias que provocaron los aludes torrenciales registrados en Venezuela en 1999 y 2005. Si bien se trató de eventos que no necesariamente obedecieron a cambios repentinos en el clima, sino a períodos de retorno de precipitaciones excepcionales que se habían registrado antes, la vulnerabilidad de una importante proporción de las ciudades hace necesario evaluar posibles escenarios de desastres.
- El desarrollo urbano desordenado se conjuga con las amenazas de origen hidrometeorológico para producir escenarios de riesgo en áreas urbanas, tales como inundaciones, aludes torrenciales y

deslizamientos en masa. El desarrollo urbano desordenado también ocasiona daños al ambiente, a través de la ocupación de nacientes de agua, la deforestación de áreas boscosas, entre otros. Por lo anterior, el estudio de la vulnerabilidad urbana y la aplicación de políticas de ordenamiento y reordenamiento urbano tendrían una repercusión muy positiva en la adaptación de las ciudades venezolanas al cambio climático.

- En cuanto a la obtención de datos para la vigilancia y monitoreo, además de mejorar la vigilancia epidemiológica, debería reforzarse el monitoreo de variables climáticas y de niveles del mar. Adicionalmente es necesario inventariar y monitorear las fuentes de emisiones GEI en áreas urbanas y en el transporte para conocer la efectividad de las medidas de mitigación y para tener evidencias tangibles de los esfuerzos que realiza el país en su compromiso en esa materia.
- La adopción de medidas de mitigación y adaptación frente al cambio climático en áreas urbanas y en el transporte, no debería pensarse aisladamente, sino en conjunto con otras iniciativas relacionadas con el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, el Acuerdo Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres y el Foro C40. En tal sentido, se recomienda seguir las indicaciones del IPCC respecto a la necesidad de profundizar estudios de evaluación de la vulnerabilidad urbana ante el cambio climático, ensayar mecanismos de reducción del uso del carbono, promover la reforestación, la adopción de prácticas de edificación sostenibles, el cambio de patrón de movilidad para reducir el uso del automóvil, promover la utilización del transporte público y otras formas de movilidad alternativa (ciclovías). Igualmente es necesario fomentar mecanismos de concienciación ciudadana, y ajustar los costos del combustible, y de los servicios de electricidad y agua, para reducir consumos excesivos y premiar el ahorro a través de la aplicación de tarifas.
- Una consideración especial debería tenerse en la evaluación y en el diseño de los proyectos de construcción de nuevas viviendas (Gran Misión Vivienda Venezuela), debido a las oportunidades que éstos ofrecen para adaptar a las ciudades venezolanas a los efectos del cambio climático. Igualmente valdría profundizar el estudio sobre el metabolismo urbano de distintas áreas metropolitanas del país, con miras a reducir el consumo del agua, reciclar efluentes, reducir desechos y reciclar materiales, todo lo cual redundará en la reducción de emisiones atmosféricas.
- Por último, si bien el marco institucional ambiental del país tiene alto potencial para la adopción de políticas efectivas frente al cambio climático, es necesario llegar a acuerdos de gobernabilidad para mejorar la coordinación y la eficiencia intergubernamental, evitando sesgos ideológicos que dificulten una necesaria concertación. Adoptar un enfoque transdisciplinario e incluyente, que incorpore al sector académico y que convoque a autoridades nacionales, regionales y locales, así

como a actores sociales e institucionales y muy especialmente a las comunidades organizadas, constituye un requisito indispensable para tener éxito en la adopción de medidas de mitigación y adaptación frente al cambio climático en las áreas urbanas y en el transporte en Venezuela.

Referencias

- ACADING (2009). *Pronunciamento Sobre El Sistema Eléctrico Nacional*. Recuperado de http://www.acading.org.ve/info/comunicacion/pubdocs/pronunciamento25_SOBRE_EL_SISTEMA_ELECTRICO_NACIONAL.pdf
- ACFIMAN. (2013). Declaración de Caracas sobre el Cambio Climático. *Interciencia*, 38(11) 757-759. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33929483001>
- Almeida, Y. (1990). *Mediciones en mareógrafos situados en la línea de costa venezolana*. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables. SAGECAN. Caracas.
- Almeida, Y. (1992). Estudio preliminar sobre la variabilidad del nivel del mar en las costas de Venezuela. *Revista Geográfica del Instituto Panamericano de Geografía e Historia*, 115: 5-26.
- Alcaldía Metropolitana de Caracas. IMUTC. (2012). *Avances del Plan Estratégico Caracas Metropolitana 2020*. Recuperado de http://www.plancaracas2020.com/plan/AvancesdelPlan2020_web.pdf
- Alcaldía Metropolitana de Caracas. IMUTC. (2014). *Análisis de los Servicios de Agua potable y Alcantarillado Sanitario en el AMC*. Informe Técnico.
- Amaya, H., Carlos, A. (2007). *Impactos socio-ambientales de las formas de ocupación del espacio urbano en Venezuela*. Escuela de Geografía. Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela. Recuperado de: http://www.eventos.ula.ve/ciudadostenible/documentos/pdf/ponencia_carlos_amaya.pdf
- Asamblea Nacional (2009). Ley de Gestión Integral de Riesgos Socionaturales y Tecnológicos. Gaceta Oficial N° 39.095 del 9 de enero de 2009. Recuperado de http://www.ifrc.org/docs/IDRL/Venezuela-ley_G.I.R.S.T.pdf
- Asamblea Nacional (2013). Ley del Plan de la Patria. Segundo Plan Socialista de Desarrollo Económico y Social de la Nación 2013 – 2019. *Gaceta Oficial* N° 6.118 extraordinario del 4 de diciembre de 2013.
- Banko, C. (2008). De la Descentralización a la Nueva Geometría del Poder. *Revista Venezolana de Economía y Ciencias Sociales*. v.14 n.2 Caracas. Recuperado de: http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1315-64112008000200009
- Bruzual, L. Mora, V. (2014). Relaciones entre la calidad ambiental y casuística de dengue en el barrio Merecure Ciudad Bolívar, estado Bolívar. *Multiciencias* Vol.14 (3) 317-326. Recuperado de <http://www.produccioncientifica.luz.edu.ve/index.php/multiciencias/article/viewFile/19343/19319>
- Cilento, A. (2002). Sobre la vulnerabilidad urbana de Caracas. *Revista venezolana de economía y ciencias sociales*, 8(3). Recuperado de <http://biblioteca.clacso.edu.ar/ar/libros/venezuela/rvecs/3.2002/sarli.doc>.
- Comisión Europea, Sociedad Venezolana de la Cruz Roja, Cáritas de Venezuela, Protección Civil y Administración de Desastres. (2008). *Documento País Venezuela 2008. Reducción de Riesgo de Desastres a Nivel Nacional*. Recuperado de http://ec.europa.eu/echo/files/funding/opportunities/interest_dipecho6_venezuela.pdf
- Comisión Europea, Sociedad Venezolana de la Cruz Roja, Cáritas de Venezuela, MPPRIJP. VGRPC (2014). *Documento País Venezuela 2014. Avances de la Gestión de Riesgo en Venezuela y su Prospectiva*. Informe Final.
- Córdova, K. (2012). *Geotecnología espacial aplicada al estudio del fenómeno de islas térmicas urbanas: contribución al estudio de la dinámica socio-ambiental de las islas de calor urbano en la ciudad de Caracas*. Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Central de Venezuela.
- Corporación Andina de Fomento (2004). *Región andina: gestión del riesgo de desastres naturales* (4). Recuperado de <http://www.scioteca.caf.com/handle/123456789/392>.
- Corporación Andina de Fomento (2010). *Observatorio de Movilidad Urbana para América Latina*. Panamericana Formas e Impresos S.A.
- Corporación Andina de Fomento (2011). *Desarrollo urbano y movilidad en América Latina*. Recuperado de: https://www.caf.com/media/4203/desarrollourbano_y_movilidad_americalatina.pdf
- CORPOELEC (2015). *Formulación del Marco Estratégico Operativo para la Gestión Ambiental Comunitaria de CORPOELEC*. Informe Diagnóstico. Consorcio Consulnima s.l.- Urbanista Roger Martínez. Caracas.

- CVG (2004). *La cuenca del río Caroní. Una visión en cifras*. Editorial Ex Libris. Caracas
- C 40 Cities (2015). *El Foro Latinoamericano de Alcaldes C40 es un ejemplo de la iniciativa de alcaldes de América Latina para frenar el cambio climático*. Foro Latinoamericano de Alcaldes C40. Buenos Aires. Recuperado de http://c40-production-images.s3.amazonaws.com/press_releases/images/75_LatAm_mayors_Forum_press_release_FIN_AL_Spanish.original.pdf?1427464754
- De Lisio, A. (2003). La evolución urbana de Caracas. Indicadores e interpretaciones sobre el desarrollo de la interrelación ciudad-naturaleza. *Revista Geográfica Venezolana* Vol 42 (2): 203-226. Recuperado de <http://www.saber.ula.ve/handle/123456789/24514>
- De Lisio, A. (2015). La región metropolitana sustentable de Caracas (REMSCA): Propuesta geo-eco-socio-económica para la adaptación local al cambio climático. En Alba Carosio *Tiempos para pensar. Investigación social y humanística hoy en Venezuela*. Fundación Celarg. Caracas.
- Díaz, E. (1992). Gestión de costas en Venezuela.. In: *Costal zone management subgroup Intergovernmental Panel on Climate Change. Global Climate Change and the Rising Challenge of the Sea*. Proceeding of the International Workshop held on Margarita Island.
- García, I. (2009). El Cambio Climático llegó a Venezuela. *Revista Producto* (286). Recuperado de <http://www.asovac.org/2009/10/15/el-cambio-climatico-llego-a-venezuela/>
- Genatios, C. Lafuente, M. (2006) Aprendiendo en torno al desarrollo endógeno. Capítulo 10 En: *Prevención de desastres, prioridad para el desarrollo*. Recuperado de: <http://www.saber.ula.ve/handle/123456789/14750>
- Gil, M. J. A., Lozada G., B. I., López P., N., Márquez D., L. A., Salazar G., M. (2013). *Evidencias del Cambio Climático en Maturín, estado Monagas, Venezuela: Precipitación y temperatura*. Departamento de Ciencias Básicas. Universidad de Oriente.
- González, E. Matos, M. Buróz, E. Ochoa-Iturbe, J. Machado-Allison, A-. Martínez, R. y Montero, R. (2015). *Agua Urbana en Venezuela. Desafíos del Agua Urbana en las Américas*. IANAS.UNESCO. México.
- Grases, J. (2006). *Ingeniería forense y estudios de sitio. Guía para la preservación de gestión de riesgos*. Banesco Seguros. Caracas.
- Grases J.; Malaver A.; Montes L.; Gonzalez M.; Herrera C.; Acosta L.; Lugo M.; Madriz J.; Hernández. J.; Vargas R. (2004). Amenazas Naturales y Vulnerabilidad de Cumaná. *Boletín Técnico*, Vol. 42 (3). Recuperado de http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S0376-723X2004000300003&script=sci_arttext
- Instituto Nacional de Estadística (INE) (2013). *Censo 2011*. Recuperado de: www.ine.gob.ve .
- IPCC (2007). *Cambio climático 2007: Informe de síntesis*. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (Eds.]. Ginebra.
- Kekana, M (2016). *Special Report on Cities and Climate Change*. IPCC. Sixth Assessment Report (AR6), Nairobi. Recuperado de: http://ipcc.ch/apps/eventmanager/documents/37/140320160519-INF.7_ThemesSRAR6.pdf
- Lárez, J. Carrero, A. García, M. (2004). Las zonas Costeras de Venezuela: una aproximación a su definición conceptual y a sus principales problemas ambientales. *Revista de Investigación*, (56) 143-166. Recuperado de <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2053467>
- Lizarraga, C. (2012). Expansión Metropolitana y Movilidad: el caso de Caracas. *EURE* Vol. 38 (133): 99-125. Recuperado de http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0250-71612012000100005&script=sci_arttext&lng=en
- Martelo, M.T. (2004). *Consecuencias ambientales generales del cambio climático en Venezuela. Primera Comunicación Nacional en Cambio Climático de Venezuela*. Proyecto MARN – PNUD VEN/00/G31. Caracas.
- Martinez, R. (2014). *Análisis de los servicios de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario en el Área Metropolitana de Caracas*. Informe Final. IMUTC. Alcaldía Metropolitana de Caracas. Caracas.
- Martinez, R., Fernández, M. Ortega, F. Schaper, A. (2013). Urban Sustainability Assessment of the Caracas Metropolitan Region. En: IADB. PTS-USB. *Ciudades sostenibles en América Latina y el Caribe*. Final Report. Washington DC

- II.3
- MARN. (2005). *Primera Comunicación Nacional en Cambio Climático de Venezuela*. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Fondo Mundial para el Medio Ambiente. Caracas. Recuperado de <http://unfccc.int/resource/docs/natc/vennc01.pdf>
- Ministerio del Poder Popular para Relaciones Interiores, Justicia y Paz, Comisión Europea, Cáritas de Venezuela, Protección Civil y Administración de Desastres. (2014). *Avances de la Gestión de Riesgo en Venezuela y su Prospectiva*.
- Naciones Unidas (2015). *Convención Marco sobre el Cambio Climático*. Conferencia de las Partes. París.
- Naveda, J. (2011). Variación en el nivel del mar como consecuencia del Cambio Climático global: Una evaluación de la costa venezolana. *Temas de Coyuntura*, 61. 63-87.
- Olivo, M., Martín, A., Sáez-Sáez, V. Soto, A. (2010). Vulnerabilidad al incremento del nivel del mar. Medio socioeconómico: área Cabo Codera-Laguna de Tacarigua, estado Miranda, Venezuela. *Terra Nueva Etapa*, XXVI(39) 59-75. Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=72115411004>
- Olivo, M. Perdomo, M. (1996). *Vulnerabilidad al incremento del nivel del mar originado por el cambio climático global; Venezuela*. Informe mimeografiado de caso de estudio Venezuela sobre Cambios Climáticos. MARNR, MEM. USCSP. Caracas.
- Ornés, V. S. (2012). *La gestión urbana sostenible: algunos componentes necesarios de entender*. Departamento de Planificación Urbana, Universidad Simón Bolívar. Trabajo de Ascenso. Recuperado de http://www.pl.usb.ve/sites/default/files/Trabajos_ascenso/TA%20SOV%20Final%20sept2012.pdf
- Páez-Pumar, E (2016). *Gasto Público en Infraestructura de Transporte Colectivo y de Carga en Venezuela*. Observatorio Gasto Público – Cedice. Recuperado de <http://cedice.org.ve/observatoriogastopublico/wp-content/uploads/2016/03/Gasto-P%C3%BAblico-en-Infraestructura-de-Transporte-Colectivo-y-de-Carga-en-Venezuela.pdf>
- PreCOP Social (2014). *Declaración de Margarita sobre Cambio Climático*. Reunión Preparatoria. Isla de Margarita. Recuperado de http://www.movimientos.org/sites/default/files/files/declaracion_de_margarita_18jul2014_.pdf
- Rangel, M. y M, García, M (2009). *Enriquecimiento de la estructura verde urbana del ámbito central de Mérida*. Facultad de Arte, Universidad de los Andes. Recuperado de <http://www.saber.ula.ve/handle/123456789/33812>
- República Bolivariana de Venezuela (2015). *Contribuciones Previstas Nacionalmente Determinadas de la República Bolivariana de Venezuela para la lucha contra el Cambio Climático y sus efectos*. Recuperado de [http://www4.unfccc.int/Submissions/INDC/INDC/Published%20Documents/Venezuela/1/Venezuela%20dic-iembre%202015%20\(final\).pdf](http://www4.unfccc.int/Submissions/INDC/INDC/Published%20Documents/Venezuela/1/Venezuela%20dic-iembre%202015%20(final).pdf)
- Rifakis, I, P.; Goncalves C, N.; Omaña R., W.; Manso M., M.; Espidel G., A.; Instigaro R., A.; Hernández M., O.; Rodríguez-Morales, A. J. (2005). Asociación entre las variaciones climáticas y los casos de dengue en un hospital de Caracas, Venezuela 1998-2004. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública* [versión electrónica]. Recuperado de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1726-46342005000300005&script=sci_arttext
- Sáez-Sáez, V. y Meleán, R. (2014). Salud de la población, riesgos del Cambio Climático y la configuración jurídica venezolana. *Terra Nueva Etapa*, XXX (48) 89-116. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=72132517005>
- Sánchez-Santillán, N., R, Garduño & P. Negrete (2005). *Análisis del nivel del mar en seis puertos del Golfo de México a través de un método alternativo*. ContactoS, 57.
- Siem, G. (2012). *Desarrollo de sistema de certificación de alta calidad ambiental para edificaciones en Venezuela*. Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Central de Venezuela. Recuperado de <http://saber.ucv.ve/jspui/handle/123456789/4041>



II.4 INSTITUCIONALIDAD EN CAMBIO CLIMÁTICO

Autor coordinador

Alicia Villamizar

Autor Líder

María Eugenia Gutiérrez

Palabras clave: institucionalidad ambiental, institucionalidad en cambio climático, gobernanza climática, América del Sur, Venezuela.



Figura II.4.1 Flora Silvestre de Venezuela 2015. Fotografía Alicia Villamizar.

Acrónimos

ACFIMAN	Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales
AN	Asamblea Nacional de Venezuela
ANCC	Autoridad Nacional de Cambio Climático (ANCC)
BASIC	Brasil, Sudáfrica, India y China
C	carbono
CAF	Corporación Andina de Fomento
CARNCC	Comisión de Ambiente, Recursos Naturales y Cambio Climático de la Asamblea Nacional
CLCC	Cátedra Libre de Cambio Climático
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático
CN	Constitución Nacional de Venezuela
CNCC	Comunicación Nacional de Cambio Climático
IIPSDEyS	Segundo Plan Socialista de desarrollo económico y social 2013-2019
INDC	Intended Nationally Determined Contributions (por sus siglas en ingles).
INGEI	Inventario de Gases de Efecto Invernadero
IPCC	Panel Intergubernamental para Cambio Climático (por sus siglas en inglés)
LGRST	Ley de Gestión de Riesgos Socionaturales y Tecnológicos
LOA	Ley Orgánica del Ambiente
MAH	Marco de Acción de Hiogo.
MARNR	Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables
NDC	Nationally Determined Contributions (por sus siglas en inglés)
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
RIOCC	Red Iberoamericana de Oficinas de Cambio Climático
UNEIRD	Reducción de Desastres de las Naciones Unidas (por sus siglas en inglés)
VGRPC	Vice Ministerio para la Gestión de Riesgo y Protección Civil

II.4.1 Introducción

La institucionalidad en cambio climático es de reciente y novedosa creación en el mundo, y ya es común en muchos países. Es la respuesta consecuente con los compromisos asumidos en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC). La CMNUCC en su Artículo 7, numeral 2, letra a, establece que “Examinará periódicamente las obligaciones de las Partes y los arreglos institucionales establecidos en virtud de la presente Convención, a la luz del objetivo de la Convención, de la experiencia obtenida de su aplicación y de la evolución de los conocimientos científicos y técnicos” (ONU, 1992). En ese sentido, la institucionalidad en cambio climático refleja la importancia del tema dentro de la estructura política-administrativa de los Estados y la seriedad con la que éstos asumen sus compromisos internacionales en la materia.

En América Latina, durante los setenta, Venezuela fue uno de los países de la región a la vanguardia de la institucionalidad ambiental. En 1977 se establece el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables (MARNR), el primero de su género en la región. Durante ese mismo año se promulga la Ley Orgánica del Ambiente (LOA). Ambas decisiones promovidas por la figura presidencial, respondían a la adhesión del país a los principios de la Declaración de Estocolmo del año 1972. Particularmente importante fue el Plan de Desarrollo demandado por la LOA en su momento, armonizado con las políticas ambientales expuestas en el V Plan de la Nación (República de Venezuela, 1976). Gabaldón (2006), destaca la importancia de la institucionalidad, al considerarla responsable de velar por la ejecución y puesta en práctica de las acciones que se requieren para cumplir con los acuerdos y con la normativa nacional para la democracia.

Para finales de los noventa, Venezuela adelanta pasos en torno a la creación de una institucionalidad relativa a cambio climático, como por ejemplo, la creación del Punto Focal adscrito al Ministerio de Energía y Minas de la época. En términos de mitigación, realiza el levantamiento del primer y hasta hoy día, único Inventario de Gases de Efecto Invernadero (INGEI) del país en el año 1999 (MARNR 1999). Respecto a la adaptación, el país lleva a cabo el proyecto “Evaluación de los impactos del cambio climático en la costa venezolana por efecto del aumento en el nivel del mar” del año 1996, con apoyo del Servicio de Vida Silvestre de los Estados Unidos de Norteamérica (MARNR, 1996), siguiendo la metodología para este tipo de estudios, desarrollada por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés). Para el año 2005, Venezuela publica la Primera (y también la única para la fecha de terminación del presente trabajo) Comunicación Nacional de Cambio

Climático (CNCC), una de sus obligaciones a tenor de lo dispuesto por la CMNUCC para todas las Partes^{II.4.1}.

Los compromisos de Venezuela con el cambio climático, se remontan al año 1992, cuando firma la CMNUCC en la Cumbre de la Tierra en Río de Janeiro de ese año. A la fecha, Venezuela ha ratificado la CMNUCC (en el año 1994) y el Protocolo de Kyoto (en el año 1998), firmado el Acuerdo de París (en diciembre 2015), ratificándolo en diciembre del 2016, convirtiéndose en consecuencia, en ley nacional, la Ley Aprobatoria del Acuerdo de París (República Bolivariana de Venezuela, 2016). Adicionalmente, el país cuenta con la Ley Penal del Ambiente del año 2012, que contempla sanciones específicas, entre otras, para actividades que alteren la atmósfera, específicamente en dos de sus artículos: Art 96, relativo a la Emisión de Gases Capaces de Deteriorar la Atmósfera: “La persona natural o jurídica que emita o permita escape de gases, agentes biológicos o bioquímicos o de cualquier naturaleza, en cantidades capaces de deteriorar o contaminar la atmósfera o el aire, en contravención a las normas técnicas que rigen la materia, será sancionada con prisión de seis meses a dos años o multa de seiscientas unidades tributarias (600 U.T.) a dos mil unidades tributarias (2.000 U.T.)”; y el artículo 102, relativo al Manejo Indebido de Sustancias o Materiales Peligrosos: “Serán sancionadas con prisión de cuatro a seis años y multa de cuatro mil unidades tributarias (4.000 U.T) a seis mil unidades tributarias (6.000 U.T.), las personas naturales o jurídicas que en contravención a las disposiciones de la reglamentación técnica sobre la materia: 1. Desechen o abandonen sustancias o materiales peligrosos, en forma tal, que puedan contaminar la atmósfera, las aguas superficiales o subterráneas, los suelos o el ambiente en general”.

Dentro del amplio marco legal del país, pueden identificarse algunas consideraciones respecto a cambio climático, para sectores que son estratégicos, como el agrícola (MPPAT, 2015) y temas de interés nacional, como el manejo de riesgos de desastres naturales (Caro, 2006), sin que ello responda a una línea estratégica definida dentro de la institucionalidad asociada a estos sectores. Por ejemplo, en la introducción del Plan Nacional de Agricultura de Riesgo y Saneamiento de Tierras. Fase I (2015-2019) del Ministerio de Agricultura y Tierras, se hace referencia a este problema, resaltando el hecho de que “la necesidad de potenciar el desarrollo agrícola nacional y dar respuesta a los múltiples retos que se le plantean al país con desequilibrios espaciales y temporales en cuanto a disponibilidad del recurso hídrico para la producción agrícola, serán potenciados por la competencia por el uso del recurso, en un contexto signado por el incremento poblacional acelerado, efectos del cambio climático y sistemas agroproductivos” (MPPAT, 2015).

^{II.4.1} Partes se refiere a cada país miembro de la CMNUCC.

Sin embargo, se constata la debilidad de un marco normativo desvinculado del resto de la normativa nacional, así como de una institucionalidad, específicos para cambio climático o al menos vinculados a éste; situación que pone en evidencia el incumplimiento de los acuerdos internacionales en la materia, y deja desasistido al país institucionalmente para afrontar los riesgos derivados de este problema (Villamizar, 2017).

A continuación, se presenta una descripción acerca del estado actual de la institucionalidad ambiental en cambio climático de Venezuela, sobre la base de una revisión de literatura científica vinculada al tema, y de la revisión de documentos oficiales, disponibles en físico, como en las páginas oficiales gubernamentales del país. Siendo un tema cuyas incidencias trascienden las fronteras de los países, y es parte relevante en la agenda internacional, se ha considerado importante relacionar la experiencia de países de la región en el tema de la institucionalidad en cambio climático, para ayudar a contextualizar la situación de Venezuela y comprender las circunstancias del estado actual del tema en el país.

II.4.2 La gobernanza y el cambio climático en Venezuela

El tema del cambio climático ha transitado desde mediados del Siglo XX por un camino controvertido, traspasando la frontera de lo ambiental para, incluso, desafiar los procesos de democratización (Whitehead, 2001; Purdy, 2010; Youngs, 2010; De Miguel *et al.*, 2011) y niveles de gobernanza (Asenjo, 2006; Brondizio *et al.*, 2009; Brunner, 2010), que tienen lugar actualmente en el mundo en desarrollo. En el 5to Reporte de Evaluación del Panel Intergubernamental para Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) del año 2014, se identifican factores de distinta naturaleza, que aumentan la vulnerabilidad de las estructuras de gobernanza y de las instituciones frente al cambio climático, al aumentar los riesgos y restar posibilidades para la adaptación. Por ejemplo, las instituciones de gobierno pueden verse superadas ante conflictos por manejo y uso de recursos hídricos compartidos (Jiménez *et al.*, 2014), por movimientos migratorios masivos (Reuveny, 2007), o por factores que comprometan a la seguridad nacional (Adger *et al.*, 2014), derivados o acentuados por eventos extremos del clima, variabilidad climática o cambio climático. A las estructuras de gobierno les resulta muy complejo acoplarse a los cambios futuros del clima, limitando la capacidad de respuesta de los sistemas humanos y naturales debido al número de factores sociales, económicos y culturales que interactúan entre sí, como la riqueza y su distribución en la sociedad, la demografía, la migración, el acceso a la tecnología y la información, entre otros (IPCC, 2014), lo que acentúa y multiplica los riesgos asociados al clima y a cambio climático.

A manera de ejemplificar el significado de la gobernanza para el tema de la institucionalidad en Venezuela (en general y relacionada con cambio climático), en la [tabla II.4.1](#) se presenta información

acerca del nivel de gobernanza de países seleccionados de América Latina y El Caribe (ALC), medido a través de indicadores mundiales de gobernanza según el Banco Mundial (2015). Se utilizan cinco indicadores que miden el nivel de desempeño de los gobiernos. Dentro del período de estudio (1996-2013) y considerando los valores más altos y bajos obtenidos por cada país, se observa lo siguiente: Chile y Uruguay, muestran muy buenos niveles de gobernanza, a la par de los países más desarrollados y democráticos. Chile muestra su más alto desempeño en 1996, con un valor de 99.51, y su nivel más bajo en el 2006 con 89.47; Uruguay tiene su más bajo desempeño en el año 1996 (71.93) y el más alto en el 2013 (80.95). Estos valores altos contrastan con los valores bajos referidos para México (49.52 en 1996 y 39.23 en el 2013), y con los muy bajos niveles de Venezuela (22.97 en 1996 y 0.47 en el 2013). Costa Rica a pesar de mantener alto desempeño, muestra una disminución sostenida en sus niveles de gobernanza (97.13 en 1998 y 68.90 en el 2013). Los países seleccionados como ejemplos de nivel de gobernanza, Chile, Costa Rica, México, Uruguay y Venezuela, han transitado de dictaduras a democracias durante el siglo XX, y tres están en proceso franco de democratización.

De los registros presentados en la [tabla II.4.1](#) se puede inferir que no existe una correspondencia directa entre gobernanza e institucionalidad ambiental, a excepción de México y Venezuela. Uruguay y Chile han adelantado significativamente sus institucionalidades en materia ambiental y cambio climático, fundamentalmente en los últimos 10 años, sugiriendo un buen nivel de correspondencia entre institucionalidad ambiental y gobernanza. Tomando en cuenta que México está a la vanguardia de la institucionalidad ambiental y en cambio climático en ALC y el resto del mundo (Vergara *et al.*, 2014), se observa un nivel precario de gobernanza, lo cual no ha interferido en la construcción de una sólida institucionalidad en ambos aspectos. Costa Rica ha venido desarrollando, desde los años 70, una novedosa institucionalidad ambiental, dirigida desde sus inicios a la reducción de emisiones GEI, siendo uno de los países vanguardia en el tema del pago por servicios ambientales (desde 1997) y con una meta de C neutral para el 2021, a la par de reflejar altos valores de gobernanza.

Tabla II.4.1 Indicadores de Gobernanza. Países selectos.

Indicador (rango del percentil)*	País				
	Chile	Costa Rica	México	Uruguay	Venezuela
Voz y rendición de cuentas	63.94 (1998)	97.13 (1998)	49.52 (1996)	71.93 (1996)	54.55 (2000)
	95.22 (2005)	72.60 (2005)	58.17 (2004)	86.26 (2010)	20.19 (2011)
Estabilidad política y ausencia de violencia / terrorismo	44.23 (1998)	80.77 (2002)	42.31 (2002)	63.46 (1996)	26.44 (1998)
	82.21 (2002)	57.42 (2008)	19.62 (2008)	77.88 (2007)	4.78 (2004)
Efectividad gubernamental	90.26 (1996)	58.05 (2006)	63.34 (1998)	72.68 (2002)	25.37 (1996)
	78.65 (2005)	68.90 (2012)	58.05 (2005)	65.85 (2006)	9.48 (2011)
Calidad regulatoria	99.51 (1996)	77.45 (1998)	53.30 (2011)	77.94 (1998)	45.59 (1996)
	90.20 (2004)	63.24 (2006)	66.99 (2012)	58.25 (2007)	2.87 (2013)
Rol de la Ley	84.91 (1998)	70.81 (1998)	43.54 (2002)	68.90 (2003)	22.97 (1996)
	89.47 (2006)	59.33 (2007)	26.44 (2008)	57.14 (2005)	0.47 (2013)
Control de la corrupción	92.72 (2000)	83.98 (1998)	53.17 (2003)	76.59 (2000)	34.63 (2000)
	83.01 (2003)	64.88 (2004)	39.23 (2013)	80.95 (2013)	6.70 (2013)

* Valores para el período 1996- 2014 (sólo valores más bajos y más altos, durante el período).

Fuente: BM, 2015.

En el estudio del Banco Mundial (2015), destacan los casos de México y Venezuela por mostrar situaciones extremas en cuanto a la correspondencia esperada entre gobernanza e institucionalidad ambiental. Venezuela muestra una correspondencia directa negativa entre nivel de gobernanza y nivel de institucionalidad ambiental, mientras que México muestra una relación inversa entre ambos aspectos, con resultados positivos para su institucionalidad ambiental y para su reconocida fortaleza en términos de institucionalidad en cambio climático. No siendo objetivo de este trabajo indagar con detalle sobre las razones que derivan en este tipo de relación, los resultados de la comparación entre los cinco países seleccionados a manera de ejemplo, sugieren que hace falta profundizar entre gobernanza e institucionalidad ambiental, toda vez que la teoría y la praxis indican que ambos aspectos, aunque muy vinculados, inciden de forma particular en algunos países; sugiriendo también que deben operar otros aspectos que no están siendo considerados en la formulación de este tipo de índice compuesto.

Venezuela se presenta como un caso especial en el cual, la combinación del acelerado debilitamiento de su democracia (Gratius & Tedesco, 2006; Briscoe, 2008; Colburn & Trejos, 2010; Flandes & Radsek, 2013), el modelo capitalista de estado de espaldas al desarrollo sustentable (Cornia, 2010; Gabaldón, 2013), y la ausencia de institucionalidad y gobernanza ambiental en cambio climático (Arias 2009; Villamizar 2013; Romero 2014), configuran un escenario de exposición del país a mayores dificultades para alcanzar el desarrollo sustentable, como lo establece la Constitución Nacional y para honrar sus compromisos post COP21.

Romero (2014), en un trabajo sobre los alcances del Plan de la Patria, se pregunta por el tiempo perdido con la propuesta del “ecosocialismo” con la cual se pretende garantizar en el futuro, el disfrute de los derechos ambientales de los venezolanos, previstos en la Constitución Nacional. El autor muestra su preocupación al advertir que Venezuela desestima las alertas globales sobre los impactos del cambio climático dadas por la comunidad internacional y por la ciencia, con la intención de imponer en Venezuela el Plan de la Patria, lo que a su juicio lleva al país a embarcarse en un modelo de cuestionada viabilidad en términos de organización política, social y económica. Este tipo de inconsistencias, a manera de ejemplo, revelan la precariedad de la estabilidad política nacional, de la calidad regulatoria del estado venezolano y del rol de la ley en el país, aspectos que determinan el grado de desinstitucionalización generalizado que presenta Venezuela y que se refleja de manera palpable en la ausencia de una institucionalidad para cambio climático, como lo revela la literatura disponible sobre este particular.

II.4.3 La presencia de Venezuela en el contexto regional del cambio climático

En la región de América Latina y El Caribe (ALC), Venezuela participa en algunas iniciativas vinculadas a cambio climático. Entre estas iniciativas está la Red Iberoamericana de Oficinas de Cambio Climático (RIOCC). La RIOCC se establece en el año 2004, para “asegurar la implementación efectiva de las decisiones de la CMNUCC, en particular aquellas sobre adaptación y mitigación, y la promoción y creación de capacidades y conocimientos incluyendo, entre otras materias, (...) las opciones de adaptación al cambio climático”. Pertenecen a la RIOCC oficinas de cambio climático de 21 países: Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Cuba, Ecuador, El Salvador, España, Guatemala, Honduras, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, Perú, Portugal, República Dominicana, Uruguay y Venezuela (RIOCC, 2015).

Venezuela también participa desde el 2009, en algunas de las iniciativas desarrolladas por el PNUD para ALC, orientadas hacia la implementación del nuevo régimen climático post 2012 (vinculado directamente a los acuerdos del Convenio de París alcanzados durante la COP21 en diciembre 2015), cuyo requerimiento fundamental es la puesta en marcha de estrategias nacionales de desarrollo, bajo en emisiones de GEI, que a la vez apoyen acciones de adaptación al cambio climático (Perdomo, 2012a). Las actividades vinculadas con estas iniciativas climáticas han contemplado la realización de talleres sobre “Financiamiento Climático y Planificación del Desarrollo en América Latina y el Caribe” realizado en Río de Janeiro, Brasil, en el 2009; algunos eventos laterales a las sesiones de la CMNUCC como el taller “Desde los Flujos de Financiamiento hacia las Estrategias Climáticas”, realizado en Panamá el 2011, así como apoyos a las negociaciones a través de la “Guía de apoyo para el Negociador Iberoamericano de Cambio Climático” y las notas conceptuales sobre “Financiamiento climático para acciones nacionales de adaptación y mitigación en países en desarrollo” (Perdomo, 2012b). Más recientemente, la Cancillería venezolana, a través del Departamento de Asuntos Multilaterales e Integración adscrita al Ministerio del Poder Popular para Relaciones Exteriores MPPRE, y como Punto Focal del Proyecto EUROCLIMA (y por tanto, punto focal para cambio climático del país), asistió al Taller sobre “Experiencias exitosas frente al cambio climático en América Latina y seguimiento del programa *peer to peer*”, realizado en Ciudad de México el 18 de febrero 2016. No se dispone de información presentada por Venezuela en dicho evento.

Uno de los compromisos más importantes de las Partes de la CMNUCC son las Comunicaciones Nacionales de Cambio Climático (CNCC). Las CNCC son documentos elaborados a partir de la integración de las distintas visiones e informaciones sectoriales, para la construcción de la visión país ante el cambio climático, que permiten identificar las fuentes de las emisiones nacionales y evaluar la vulnerabilidad país, actual y futura. Villamizar (2011) reportaba que para el 2011 el 50% de los países de

Cap. II.4 - Institucionalidad en cambio climático

la región apenas habían entregado las primeras Comunicaciones Nacionales (CN) de la CMNUCC, entre los que figuraba Venezuela. Para la fecha, México había finalizado su 4ta CNCC y el resto de los países su 2da CNCC. Para julio 2016, 18 países de la región, No Anexo I^{II.4.2}, habían publicado sus CNCC, observándose importantes avances, excepto en Venezuela y Guatemala, que no muestran adelantos con ese compromiso para esa fecha (UNFCCC, 2016). En el [cuadro II.4.1](#) se indican las fechas de entrega a la Secretaría de la CMNUCC, según reporta la página oficial de la convención. Los países No Anexo I debían entregar su 6ta CNCC en enero 2014. Se constata el rezago de Venezuela, único país de la región que para la fecha, Octubre 2017, ha entregado la Primera CNCC.

Cuadro II.4.1 Estatus de las Comunicaciones Nacionales (CN), Reportes Bianuales de Actualización (BUR) en Cambio Climático e Inventario de GEI (IGEI), de los países No Anexo 1 de América Central y América del Sur (continentales).

País	1raCN	2daCN	3raCN	4taCN	5taCN	IGEI	BUR
Argentina	25.07.97	07.03.08	09.12.15				
Belize	16.09.02	28.10.11	27.04.16				
Bolivia	16.11.02	02.12.09					
Brasil	10.12.04	30.11.10	20.04.16				31.12.14
Chile	08.02.00	24.10.11				05.02.15	18.12.15
Colombia	18.12.01	07.11.10					
Costa Rica	18.11.00	07.10.09	11.12.14			09.12.15	
Ecuador	15.11.00	02.04.12					
El Salvador	10.04.00	13.09.13					
Guatemala	01.02.02	11.01.16					
Guyana	16.05.02	24.09.12					
Honduras	15.11.05	05.04.12					
México	09.12.97	23.07.01	11.11.06	14.12.09	06.12.12		23.10.15
Nicaragua	25.07.01	22.06.11					
Panamá	20.07.01	02.03.12					
Paraguay	10.04.02	08.12.11					30.12.15
Perú	21.08.01	28.09.10	23.04.16				30.12.14
Uruguay	15.10.97	11.05.04				18.11.10	07.12.15
Venezuela	13.10.05						

Fuente: recuperado el 21/07/2016 de http://unfccc.int/national_reports/nonannex_i_natcom/reporting_on_climate_change/.

II.4.4 El estado de la institucionalidad relativa al ambiente y al cambio climático en Venezuela

En el contexto latinoamericano, y desde el siglo pasado, Venezuela ha mostrado significativos avances en cuanto al marco legal ambiental. ha sido pionera en la elaboración de instrumentos jurídicos ambientales en todos los ámbitos, siendo uno de los primeros países de la Región de ALC en decretar en 1992, la Ley Penal del Ambiente (Gabaldón, 2006); hoy está en vigencia la ley penal promulgada en

^{II.4.2} Según la CMNUCC los países Parte se agrupan en países Anexo 1, Anexo 2 y No Anexo 1. Los primeros eran los países desarrollados y aquellos cuya economía estaba en fase de transición. Estos países tenían que llevar a cabo acciones de mitigación. Los países No Anexo 1 eran los países en vía de desarrollo que no tenían obligaciones cuantitativas de mitigar, sino informar periódicamente sobre el estado de sus emisiones e implementar políticas nacionales encaminadas a la mitigación de sus emisiones y adaptación al cambio climático. El Protocolo de Kyoto mantuvo esta división.

el año 2012 (República Bolivariana de Venezuela, 2012). Así mismo, ha establecido políticas ambientales, no sólo para responder al mandato constitucional de “velar por el equilibrio ecológico y por los bienes jurídicos ambientales considerados patrimonio común de la humanidad”, establecidos en los artículos 127, 128 y 129 de la Constitución Nacional (CRBV, 1999), sino también para atender acuerdos internacionales suscritos en materia ambiental. Méndez Bastardo (2008), por ejemplo, identifica para Venezuela, 45 documentos jurídicos sólo para humedales costeros de diversa naturaleza, que reflejan la complejidad del tramado jurídico del marco legal ambiental del país. Para el año 2011, Alviárez reportaba para Venezuela, más de 500 documentos jurídicos directamente relacionados con el ambiente, los cuales incluyen: la Constitución Nacional, 67 leyes aprobatorias de convenios internacionales, 15 leyes orgánicas, 19 leyes ordinarias, 13 decretos con rango de fuerza de ley, más de 180 decretos y más de 250 resoluciones. Ello, sin embargo, no ha garantizado la protección de muchos recursos naturales ni controlado los problemas ambientales que secularmente afectan al país (Red Ara, 2011; VITALIS, 2016). Aun así, las regulaciones ambientales han servido para proteger importantes áreas naturales, ya que más del 60% del territorio nacional está normado por algún régimen de administración especial (Yerena, 2011).

En relación al cambio climático, la preexistencia de un marco legal ambiental nacional y la incorporación de instrumentos jurídicos de alcance internacional, representan una pre-condición de ventaja ante los requerimientos normativos requeridos para atender las obligaciones derivadas de los compromisos país con cambio climático (Villamizar, 2017). En el antiguo Congreso de la República, actual Asamblea Nacional, se sancionaron las Leyes Aprobatorias: Ley Aprobatoria de la CMNUCC (República de Venezuela, 1994) y la Ley Aprobatoria del Protocolo de Kyoto (República de Venezuela, 2004). En el 2016 la AN ratifica el Convenio de París, mediante la promulgación de la Ley Aprobatoria del Convenio de París (República Bolivariana de Venezuela, 2016). Por efecto de esta última Ley, Venezuela, como una de las Partes del convenio, deberá cumplir con las Contribuciones Determinadas a nivel Nacional (NDC, por sus siglas en inglés), en el contexto del desarrollo sostenible, y la erradicación de la pobreza, mediante, entre otras acciones, la adaptación y mitigación (A&M), la financiación, la transferencia de tecnología y el fomento de la capacidad, según le corresponda por su condición de país No Anexo 1. El objetivo del convenio de París es, entre otros, a) Promover la ambición relativa a la mitigación y la adaptación; b) Aumentar la participación pública y privada en la aplicación de las NDC; y para efectos de este capítulo, es particularmente relevante el objetivo e) Ofrecer oportunidades para la coordinación de los Instrumentos y *los arreglos institucionales pertinentes*.

Al respecto, Villamizar (2011) señala la ausencia de un plan nacional en cambio climático, uno de los compromisos adquiridos por las Partes de la CMNUCC, en particular para países No Anexo I como Venezuela, cuya gestión requiere, tanto de una estructura administrativa responsable, como de un

presupuesto asignado. No disponer de espacio institucional para abordar el problema de cambio climático, ni de un cuerpo de políticas públicas nacionales articuladas para atenderlo, aumenta la vulnerabilidad frente a los impactos identificados para Venezuela en la 1ra CNCC (2005) y los desafíos futuros del cambio climático advertidos por Magrín *et al.* (2014) para la región de América del Sur y Centro América, así como, por los derivados de la rápida retracción y deshielo de los glaciares andinos venezolanos (Camacho 2004; Morris *et al.*, 2006; Toro *et al.*, 2008), las altas tasas de deforestación que presenta el país (Rodríguez *et al.*, 2010), por el aumento de enfermedades metaxénicas vinculadas al clima (Feliciangeli *et al.*, 2006; Moreno *et al.*, 2007; Herrera-Martinez & Rodríguez-Morales, 2010) y por mayor exposición a eventos climáticos en sus áreas costeras y ciudades (FII 2006; Córdova, 2012).

Di Carlo Quero (2014), ha señalado que el país cuenta con instrumentos jurídicos que apoyan la implementación de medidas de A&M al cambio climático, entre las cuales está la La Misión Árbol (2005) y la Misión Revolución Energética (2010); la Ley de Ciencia, Tecnología e Innovación (2010); la Ley de Uso Racional y Eficiente de la Energía (2011); la Ley Orgánica del Ambiente (2012); el Plan de la Patria 2013-2019; y la Ley de Bosques y Gestión Forestal (2013), entre otros.

El marco jurídico, directa o indirectamente relativo a cambio climático, puede, además, permitirle al país acoplarse a nuevas regulaciones derivadas de los ajustes normativos post COP21, en su ruta hasta el 2030, ruta en la cual queda implícito el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y de la Agenda 2030. Igualmente, representar una pre-condición favorable para la construcción de una institucionalidad específica para cambio climático que pueda integrarse a la actual institucionalidad ambiental del país, sin requerir de más burocracia y lentos procesos legislativos (Villamizar, 2017).

De la misma manera, la existencia de un marco normativo para la gestión de los riesgos por desastres naturales, también representa una ventaja a efectos de la adaptación que requerirá el país para afrontar el clima futuro. En el marco de la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de las Naciones Unidas (UNEIRD, por sus siglas en inglés), el país formuló la Ley de Gestión de Riesgos Socionaturales y Tecnológicos (LGRST) del 2009 y creó el Vice Ministerio para la Gestión de Riesgo y Protección Civil (VGRPC), adscrito al Ministerio de Relaciones Interiores, Justicia y Paz, en el 2013. El país ha participado en la Conferencia Mundial sobre la Reducción de los Desastres, celebrada en 2005 en Kobe, Japón, siendo escogida en esa oportunidad, junto a otros países, para llevar a cabo como actividad piloto, la creación de una plataforma virtual establecida por la EIRD de las Américas para la estructuración en línea de los Informes Nacionales en la región.

En el año 2007, se realizó en Caracas la 1ra sesión de la Plataforma Nacional durante la cual se elaboró un informe que fue presentado al año siguiente en la ciudad de Panamá, durante la realización

de la 9na. Reunión Consultiva Regional de Plataformas Nacionales de Reducción de Riesgo de Desastres y Diálogo sobre Adaptación al Cambio Climático (VGRPC, 2014). El VGRPC en el año 2014, en su informe sobre avances y prospectiva en relación al manejo de riesgos, las acciones prioritarias para el país en atención a los factores subyacentes del riesgo de desastres relacionados, entre otros aspectos, con las consecuencias de las amenazas relacionadas con fenómenos geológicos, meteorológicos e hidrológicos, la variabilidad del clima y el cambio climático. Como indicadores de dichas acciones, el VGRPC consideró lo siguiente: a) Existencia de una política y planes relacionados con el ambiente que promueva la reducción del riesgo de desastres b) Existencia de garantía que las políticas y los planes de desarrollo social, tengan como objetivo la reducción de la vulnerabilidad. c) Existencia de garantía que las políticas y los planes económicos y sectoriales productivos tengan como fin reducir la vulnerabilidad de las actividades económicas. d) Inclusión en la planificación y la gestión de los asentamientos humanos de los elementos de la reducción del riesgo de desastres. e) Cantidad de medidas para la reducción del riesgo de desastres. f) Cantidad de evaluación del impacto del riesgo de desastres de los proyectos de desarrollo. Al respecto, el VGRPC informó que “el país se encontraba, respecto a los indicadores a, c y d, en fase de “compromiso institucional”, y que los logros en la materia no son considerables” (VGRCP, 2014, p62). Las precisiones del VGRPC concuerdan con los hallazgos derivados de la revisión de literatura realizada para desarrollar este capítulo, al dejar clara la inexistencia de una institucionalidad ambiental debidamente integrada donde aspectos claves para la reducción de la vulnerabilidad del país ante el cambio climático, carezcan de piso institucional específico que pueda vincularse con el resto de la institucionalidad nacional, tanto ambiental, como también con el resto de la institucionalidad que aborda los ámbitos de la gestión pública. Para septiembre 2017, el VGRPC, adscrito al Ministerio del Poder Popular para Relaciones Interiores, Justicia y Paz y el PNUD en Venezuela presentaron el “Atlas Nacional de Exposición ante Amenazas Naturales y Tecnológicas”, como una herramienta de apoyo al conocimiento de las amenazas naturales y tecnológicas a las cuales está expuesta la población e infraestructura del país. Al atlas contiene información de las 24 entidades federales y diversas capas de información espacial: base topográfica, infraestructura, información básica y amenazas. Esta información contribuirá con la reducción del impacto de los desastres y la mitigación de riesgos en las fases de prevención, preparación y atención de emergencias, incluyendo los eventos del clima.

A partir de entrada en vigencia de LGRST, el país cuenta con un instrumento con el cual se regula la gestión de riesgo en el país, y se establecen los principios que orientan la política nacional en la materia. Asimismo, la LGRST da un apoyo jurídico al tema de cambio climático, en el marco del manejo de los riesgos vinculados al clima. En atención a los compromisos país respecto al Marco de

Acción de Hiogo (MAH)^{II.4.3}, Venezuela realizó en el 2014, un análisis FODA con la finalidad de orientar acciones prioritarias en la consideración en planes y programas de desarrollo sectoriales y en las situaciones posteriores a los desastres, entre otros aspectos, vinculados a la variabilidad del clima y al cambio climático.

El análisis FODA mostró que existe un reducido conocimiento y medidas preventivas en las comunidades sobre el cambio climático y que la vinculación del riesgo con el propio problema de cambio climático es una amenaza para la gestión de éstos. Sobre la base de estos resultados, se construyó una visión país a 10 años en la cual:

...se pueda contar con los mecanismos para aplicar el marco legal existente, y con gran atención en el control de las emisiones, tratamiento de residuos y desechos, gestión del agua y consumo responsable, atención especial al uso de energías alternas, con metas fijas para ir reduciendo la contribución en el cambio climático, con una población totalmente concienciada actuando en la reducción de la vulnerabilidad y con especial atención en la conservación y protección de los recursos naturales en particular la biodiversidad y la protección de cuencas (VGRPC, 2014).

En el portal del antiguo MINAMB (www.minamb.gob.ve) se lograba acceder a algunos documentos directamente relativos a la materia ambiental que tiene el país. Respecto a cambio climático, estaban disponibles la 1ra CNCC y una versión para estudiantes de bachillerato de esta CNCC. Villamizar (2013) identifica ocho documentos en el portal del MINAMB que no cubren las bases legales para normar los tres problemas ambientales que el propio MINAMB (2012) identifica como principales para el país. En el [cuadro II.4.2](#) se presenta información resumida sobre estos ocho documentos. El actual ministerio de ambiente, el MINEA (Ministerio de Ecosocialismo y Aguas) ([Figura II.4.2](#)), está organizado en tres niveles de operatividad (de apoyo, sustantivo y operacional) que articulan a las tres áreas estratégicas en materia ambiental establecidas por el ejecutivo nacional: Aguas, Gestión ecosocialista y Desechos sólidos. Al presente, no es factible identificar a través del portal oficial del MINEA, alguna dependencia con responsabilidad para atender el tema de cambio climático. Respecto a documentación vinculada a la gestión ambiental gubernamental, disponible a través del portal del MINEA (www.minea.gob.ve) sólo es posible descargar el documento sobre los Objetivos de Desarrollo del

^{II.4.3} El MAH (2005-2015), fue adoptado por 168 Estados miembros de las Naciones Unidas reunidos en la Conferencia Mundial sobre la Reducción de los Desastres (Kobe, Hyogo, Japón 2005) cuyos objetivos estratégicos son: 1. La integración de la reducción del riesgo de desastres en las políticas y la planificación del desarrollo sostenible. 2. El desarrollo y fortalecimiento de las instituciones, mecanismos y capacidades para aumentar la resiliencia ante las amenazas. 3. La incorporación sistemática de los enfoques de la reducción del riesgo en la implementación de programas de preparación, atención y recuperación de emergencias.

Milenio (ODM) del año 2015, el Plan de la Patria y una serie de documentos sobre Seguridad Alimentaria y la Misión CLAP^{II.4.4}.

Respecto a cambio climático, el Plan Operativo Anual del MINAMB para el 2012, mostraba un proyecto vinculado a cambio climático “Rehabilitación de las infraestructuras, adaptación de los sistemas de alivio al cambio climático y optimización de embalses” para ser terminado en diciembre del 2013. El proyecto contempla dieciocho obras de rehabilitación y de adecuación de embalses, para un estimado de 450.000.000 BsF. Al presente, no ha sido posible conseguir información de avance sobre este proyecto. En el marco de las políticas públicas ambientales del IIPSDEyS (2013), dentro de la Sección de Conservación y Ordenación Territorial, se define uno de los programas que promoverá el desarrollo social integral y su interrelación con el cambio climático en diferentes cuencas a nivel nacional, instrumento que plantea como política desarrollar la institucionalidad prevista por la Ley de Aguas y dotarla de los medios necesarios, de una manera general. De igual forma, no ha sido factible tener acceso a información que permita verificar el estatus de estas políticas públicas.

^{II.4.4} Comités Locales de Abastecimiento y Producción (CLAP), organizaciones comunitarias que, junto al Ministerio de Alimentación, tienen como objetivo principal la distribución casa por casa de los productos alimenticios regulados de primera necesidad.

Cap. II.4 - Institucionalidad en cambio climático

Cuadro II.4.2 Logros de la gestión del Ministerio de Ambiente de Venezuela (MINAMB) vinculados a cambio climático.

Política o proyecto	Características de la política
Misión Agro Venezuela	Tiende a garantizar el derecho a la seguridad alimentaria a través de la asistencia técnica, dotación de insumos y financiamiento de los productores agrícolas. Establecida a través de la Comisión Presidencial presidida por el Presidente de la República está integrada por los Ministros de Agricultura, Ciencia y tecnología, Defensa, Banca Pública, Fuerza Armada Nacional, Pdvsa Agrícola, entre otros funcionarios. (http://ceims.mppre.gob.ve/index.php?option=com_content&view=article&id=595:misionagrovenezuela&catid=23:misiones-bolivarianas).
Misión Luciémaga	Siguiendo las líneas emanadas del MPP para la Energía Eléctrica, correspondiente a las acciones destinadas a disminuir la demanda, se incorporaron más de mil milicianos a la Misión Luciémaga III, a objeto de acelerar el remplazo de bombillos incandescentes por ahorradores.
Gran Misión Eléctrica	Se inició en abril del 2013. El ministro del PP para la Energía Eléctrica, Jesse Chacón, anunció al país que la Gran Misión Eléctrica Venezuela, en fase de preparación, contemplará siete vértices de acción que serán detallados con amplitud una vez sea lanzada la misma. (http://www.minci.gob.ve/2013/04/gran-mision-electrica-venezuela-tendra-siete-vertices-de-accion-directa/).
Proyecto Ser Lago	Iniciativa de educación ambiental impulsada por el Minamb, para que los jóvenes de colegios públicos y privados obtengan una conciencia ecológica integral sobre el aprovechamiento sustentable de los recursos que se localizan en la Cuenca del Lago de Maracaibo.
Saneamiento del Río Guaire	La limpieza del Guaire es uno de los grandes retos del MINAMB que hoy hace posible el sueño de los habitantes de la gran Caracas y sus alrededores. Un amplio grupo de especialistas encargados del saneamiento del río Guaire, desarrolla el proyecto mediante ejes identificados en mitigación de riesgo, proyección y construcción de colectores, propuestas de diseño en cuanto a obras hidráulicas, promoción de la organización social y articulación institucional con las comunidades vecinas. El saneamiento ha comenzado con la realización de la planta de tratamiento, El Chorrillo en Los Teques, que se encargará de sanear el río San Pedro, naciente del río Guaire, mediante colectores de aguas negras y separación de los sistemas mixtos que existen en un porcentaje bastante alto, para luego conducirlo a una planta de tratamiento, que va a estar ubicada en la misma cuenca, a fin de entregarla al río San Pedro
Saneamiento del Lago de Maracaibo	La limpieza del Lago de Maracaibo se traduce en una mejor calidad de vida para toda la región. El MINAMB tiene como meta ofrecer a los zulianos un ambiente sano, libre de malos olores, un cuerpo de agua que pueda ofrecer beneficios y nos más dificultades. El trabajo se basa en sanear las aguas servidas que llegan al Lago mediante plantas de tratamiento, colectores principales, plantas de aguas servidas sobre diversos municipios del estado y control de torrentes y dragados en la cuenca del Lago. Para esta labor se planteó una inversión de 466 millardos de bolívares, que se inició en marzo 2006 y finalizará en diciembre del mismo año.
Conservación y Uso Sustentable de la Diversidad Biológica en la Reserva de Biosfera y los Humedales del Delta del Orinoco.	A cargo del MINAMB y surgido de un acuerdo de cooperación firmado en el año 2001 entre el Gobierno Nacional y el Fondo Mundial para el Ambiente (GEF). Inversión socioambiental, entre el Proyecto y sus cofinancistas (GEF-PDVSA-CVG-MINAMB), en el orden de 32 Millones de Bolívares (US\$ 14,9 millones) para investigación, conservación y proyectos sociales en el Delta y la Reserva de Biosfera, así como para control de la contaminación en el tramo bajo del río Orinoco, con impacto estimado en al menos 5.000 habitantes de la Reserva (2004-2007).
Sistema de abastecimiento de agua potable Los Clavellinos	El proyecto de ampliación del sistema de abastecimiento de agua potable Los Clavellinos beneficiará a unos 450 mil habitantes, 300 mil en Nueva Esparta y a una población de 150 mil personas en el estado Sucre. Esta obra comprende la rehabilitación y ampliación de las plantas de agua potable Clavellinos y la de El Cordón.
Proyecto de Sobremarcha Ecológica	En el año 2000, el Ejecutivo Nacional por medio del Fondo de Inversiones de Venezuela (FIV), dispuso de recursos extraordinarios a fin de la puesta en funcionamiento del Proyecto de Sobremarcha Ecológica del MINAMB, para la ejecución del Proyecto Plaguicidas. Con este proyecto se persigue eliminar un pasivo ambiental de la Nación, que por sus características tóxicas representa un grave peligro para la salud de la colectividad y el ambiente en general. Es así, como el país ha demostrado su compromiso con el cumplimiento del Convenio Estocolmo siendo ejemplo a seguir en la región.
Proyecto de Rellenos Sanitarios	La operatividad de los rellenos sanitarios corresponde con una de las iniciativas del MINAMB, para que se conformen las mancomunidades de las alcaldías y se organice a la ciudadanía de forma tal que se sustituyan los vertederos a cielo abierto, por rellenos sanitarios que funcionen con todas las normas técnicas requeridas. Ya no se dispondrá más de espacios abiertos para este fin y se originará la reducción de riesgos e impactos sobre el ambiente y la salud pública, al confinar la basura en un área pequeña, minimizando su volumen para luego cubrirla con tierra.
Proyecto Plan Delta	Gracias al esfuerzo del Gabinete Territorial, bajo la coordinación del MINAMB, se lleva a cabo el Plan Revolucionando el Delta, que forma parte del crecimiento del estado Delta Amacuro. El Plan se desarrolla en áreas de salud, educación, comunidades indígenas y servicios básicos, acompañado por el trabajo de las misiones, así como el adelanto habitacional, sin afectar de manera alguna el equilibrio ambiental. La inversión en electricidad, agua potable, recolección y tratamiento de aguas servidas, disposición de desechos sólidos, educación, salud, turismo, vivienda, seguridad y proyectos productivos es por más de 182 mil millones de bolívares.
Desechos sólidos	Mejorar la calidad de vida de la colectividad, con la puesta en marcha del plan estructural diseñado para el manejo integral de los desechos sólidos, trabajando conjuntamente con las comunidades respectivas para lograr la cogestión del mismo. " Que Brille la Gran Caracas "

Fuente: MINAMB, 2013.

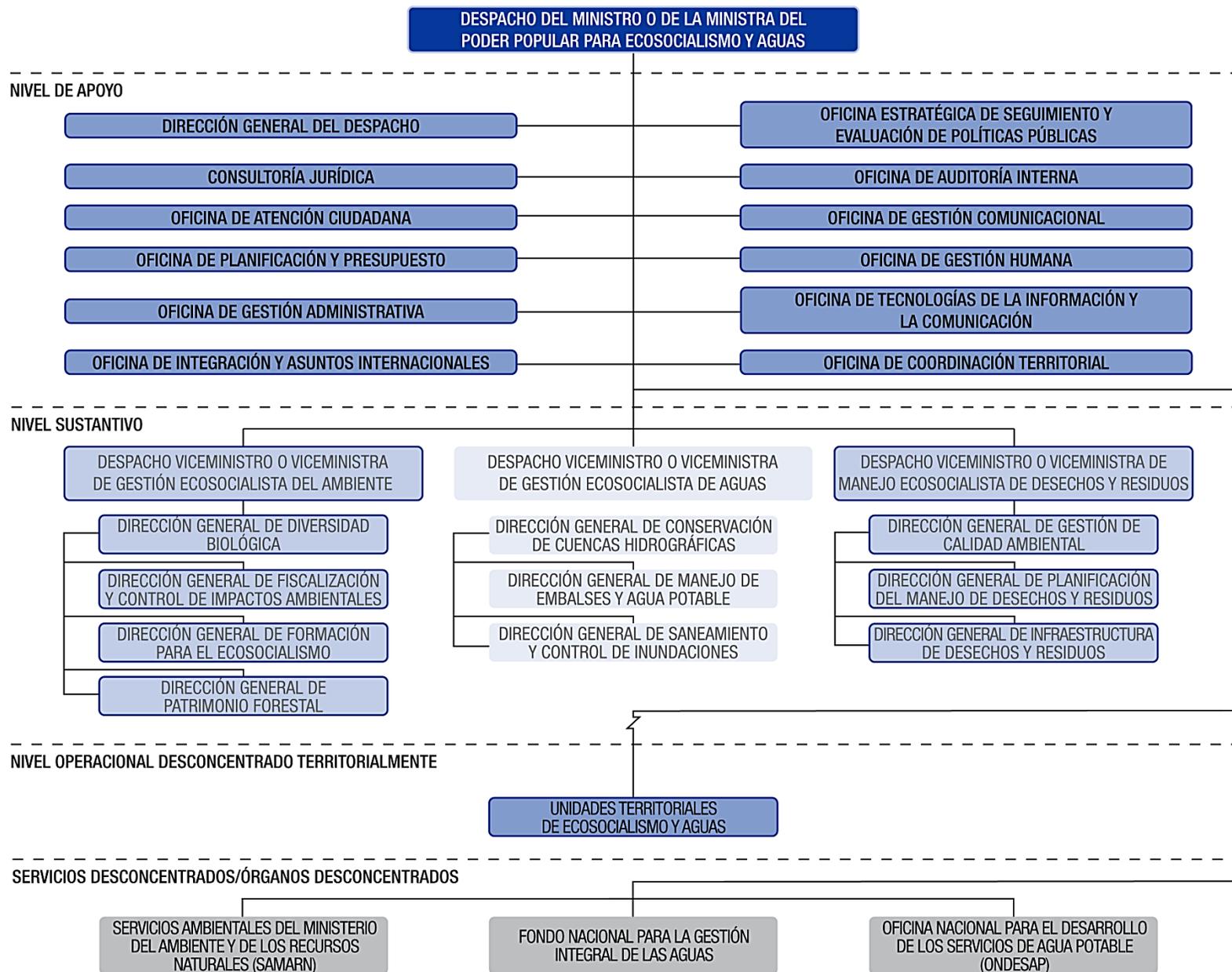


Figura II.4.2 Organigrama institucional del Ministerio de Ecosocialismo y Aguas (MINEA). Fuente: recuperado el 10/07/2017 de www.minea.gov.ve.

A escala nacional, aun cuando el Segundo Plan Socialista de Desarrollo Económico y Social 2013-2019 (IIPSEyS) establece consideraciones relacionadas a cambio climático, no se identifica una institucionalidad asociada a su operacionalidad dentro de la estructura organizativa del Estado venezolano, particularmente en las instancias con competencia directa en el tema, como son el MPPRE (ministerio que aloja al punto focal de cambio climático) y el MINEA (que extraoficialmente se conoce que tiene una dependencia con responsabilidad en el tema, aunque no es identificable en su organigrama institucional, como lo muestra la [figura II.4.2](#)).

En términos generales, no se observa correspondencia entre los objetivos nacionales ambientales contemplados en el Segundo Plan Socialista de Desarrollo Económico y Social 2013-2019 (IIPSEyS, 2013), las políticas ambientales desarrolladas hasta el presente, y las propuestas futuras para transitar según las expectativas del eco-socialismo y las aspiraciones de “salvar al planeta” planteadas en el referido plan (Villamizar, 2013). Tampoco se cuenta con evidencias de una institucionalidad articulada, capaz de albergar y operacionalizar las consideraciones específicas sobre cambio climático señaladas en el Capítulo V del IIPSEyS, ni con los compromisos derivados de la NDC entregada por el ejecutivo nacional a la Secretaría de la CMNUCC en julio 2017. En el [cuadro II.4.3](#) se presentan los objetivos del plan IIPSEyS, relacionados directamente con cambio climático.

Cuadro II.4.3 Objetivos relacionados con cambio climático, considerados en el Plan de la Patria 2012-2019.

Capítulo	Artículo
V. Contribuir con la preservación de la vida en el planeta y la salvación de la especie humana.	5.1 Construir e impulsar el modelo económico productivo eco-socialista, basado en una relación armónica entre el hombre y la naturaleza, que garantice el uso y aprovechamiento racional, óptimo y sostenible de los recursos naturales, respetando los procesos y ciclos de la naturaleza.
	5.2 Proteger y defender la soberanía permanente del Estado sobre los recursos naturales para el beneficio supremo de nuestro Pueblo, que será su principal garante.
	5.4 Contribuir a la conformación de un gran movimiento mundial para contener las causas y reparar los efectos del cambio climático que ocurren como consecuencia del modelo capitalista depredador.
	5.3 Defender y proteger el patrimonio histórico y cultural venezolano y nuestro americano

Fuente: Segundo Plan Socialista de Desarrollo Económico y Social, 2013-2019.

Sobre la base de las evidencias recabadas, disponibles en la literatura consultada y en las páginas oficiales del gobierno (principalmente el antiguo el antiguo MINAMB, hoy INEA y en MPPRE), los alcances de logros ambientales a nivel gubernamental parecen no estar en sintonía, ni con la compleja escala global de la problemática ambiental ante la cual el país está expuesto, ni con las problemáticas sociales y ambientales del país (Red Ara, 2011; ACFIMAN, 2015; VITALIS, 2016).

A nivel legislativo, la Asamblea Nacional tiene la Comisión de Ambiente, Recursos Naturales y Cambio Climático (CARNCC) de cuyo trabajo poco se conocía hasta finales del 2015. A partir de diciembre 2015, la Asamblea Nacional de Venezuela (AN) ha dispuesto espacios legislativos para los grandes temas que afectan al país, entre ellos el tema del cambio climático. En ese sentido, la CARNCC

de la AN ha establecido amplios y permanentes intercambios con los actores sociales del país involucrados en el tema de cambio climático, entre los cuales están las universidades, los centros de pensamiento, las ONG e individualidades.

El trabajo de la CARNCC es bastante reciente, y ya ha dado los primeros resultados a través de varias reuniones conducidas a través de una agenda de trabajo concertada entre los actores antes mencionados para ser desarrollada durante el periodo 2016-2017 (CARNCC-AN, 2016) la preparación de una agenda de trabajo concertada entre los actores mencionados, para el año 2016 (CARNCC-AN, 2016). La Cátedra Libre de Cambio Climático (CLCC) de la UCV y la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales (ACFIMAN), así como otras instituciones y organizaciones civiles apoyan en los aspectos técnicos a la CARNCC-AN, en temas relativos al ambiente y a cambio climático. En particular, las más recientes discusiones se han dado en torno a la institucionalidad y marco jurídico que el país deberá desarrollar para poder honrar los nuevos compromisos derivados del Acuerdo de París.

Al respecto, la CLCC-UCV (2016) presentó un documento ante la CARNCC-AN acerca de las implicaciones de este acuerdo para Venezuela, resaltando dos hechos: el país se encuentra entre los altamente vulnerables al cambio climático, y sus emisiones de CO₂, aunque moderadas, están vinculadas significativamente a la actividad petrolera, por lo que el convenio tiene efecto directo sobre el negocio de las exportaciones petroleras.

La NDC del país, además de brindar una serie de oportunidades para transitar hacia un desarrollo sustentable, como está establecido en la Constitución Nacional, exige una institucionalidad que Venezuela no posee. Entre los beneficios que ofrecen los compromisos país enunciados en su NDC, por ejemplo, está el acceso a fondos bilaterales del mercado de carbono (los fondos verdes), a mejoras del transporte público, al desarrollo de energía renovable, a la modernización industrial, a la protección de los bosques (CLCC-UCV, 2016). Sin embargo, para tener acceso a los recursos del Fondo Verde se debe designar una Autoridad Nacional de Cambio Climático (ANCC) y hacer las solicitudes a través de entidades acreditadas (como lo son la Corporación Andina de Fomento (CAF) y el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) ambas presentes en el país) (CLCC-UCV, 2016). Al carecer de una ANCC, el país queda excluido de estos beneficios. Esa instancia, vinculada a cambio climático, debe, a la vez, estar adscrita a una dependencia gubernamental con competencia en la materia, con un presupuesto asignado, personal calificado y responsabilidades definidas. Al presente no ha sido posible identificar la existencia ni la adscripción de esta dependencia dentro de la institucionalidad del país.

Otra oportunidad en la región para delinear políticas de gobernanza ambiental, incluyendo por tanto a Venezuela (lo que supone la preexistencia de una institucionalidad que brinde espacio

institucional a dicha gobernanza), se plantea en el proyecto REDD^{II.4.5}, “Reducción de Emisiones Causadas por la Deforestación y la Degradación Forestal”, donde además de reconocer a los bosques por su particularidad de contribuir al secuestro de carbono y mitigación climática (De Castro *et al.*, 2015), son considerados necesarios para combatir el cambio climático a nivel global. Sin embargo, en ese sentido, Venezuela, Nicaragua, Bolivia y Guayana Francesa forman parte de los países que se resisten al proyecto conformando la “estrategia de resistencia”, según declaraciones en la Reunión Ministerial BASIC^{II.4.6} sobre cambio Climático en Foz, Brasil en septiembre de 2013 (<http://www.itamaraty.gov.br>). De hecho, Venezuela y Guayana Francesa no participan en ninguna iniciativa REDD (Aguilar-Støen *et al.*, 2015).

Las discusiones en torno a BASIC buscan la coordinación de posiciones, a propósito del fortalecimiento de las ambiciones de mitigación de emisiones hasta 2020, y sobre un nuevo instrumento internacional con fuerza legal y vinculante para todas las partes, que fue acordado en la COP19 en Varsovia, de manera que entre en vigor a partir de 2020. Esta estrategia, así definida por Aguilar-Støen *et al.* (2015), se opone abiertamente a ciertos aspectos de REDD, o carece de iniciativa para implementar REDD. No se encontraron registros de las acciones de Venezuela referidas a su posición de “estrategia de resistencia”. La pérdida de los bosques por la deforestación acelerada, ha impulsado a varios gobiernos de la región a considerar la necesidad de mejorar la gobernanza ambiental, y en ese sentido, han centrado las discusiones en un conjunto de políticas reflejadas en este proyecto REDD, proyecto que ha ido evolucionando y ajustando sus objetivos a medida que avanza.

VITALIS, en su Balance Anual (2015), identificaba como uno de los 9 grandes problemas ambientales en Venezuela, la falta de institucionalidad y gobernabilidad en materia ambiental, considerando a su vez la existencia de 22 subproblemas asociados a la carencia de institucionalidad, tales como: desarticulación del ministerio de ambiente, pérdida de institucionalidad ambiental, contexto político e ideológico que priva sobre aspectos fundamentales en materia ambiental, política ambiental poco estimulada, falta de una gestión ambiental pública claramente definida, asignación austera de recursos en la Ley de Presupuesto Anual 2015, ausencia de tribunales especiales con competencia

^{II.4.5} En respuesta a la concienciación creciente sobre la importancia para el cambio climático del cambio del uso del suelo, y en particular de la pérdida de bosque, un grupo de países con bosque tropical realizó en 2005 una propuesta a la CMNUCC para que el acuerdo sobre cambio climático post-2020 incluya un mecanismo para la Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación (REDD). Esta propuesta inicial se elaboró en mayor profundidad en reuniones posteriores de la CMNUCC, para incluir la conservación de las reservas de carbono de los bosques, la gestión sostenible de bosques, y la mejora de las reservas de carbono de los bosques.

^{II.4.6} El BASIC (Brasil, Sudáfrica, India y China) fue creado en 2007 como un grupo informal de diálogo sobre las negociaciones de la CMNUCC. Desde su creación, el grupo viene desempeñando un papel importante en la construcción de entendimientos en el régimen del cambio climático y en la definición de una respuesta mundial efectiva y justa para el calentamiento global. La acción coordinada del BASIC ha estimulado un mayor nivel de ambición en el combate al cambio climático y ha contribuido al tratamiento del apoyo financiero, tecnológico y técnico internacional para acciones de mitigación y adaptación en países en desarrollo.

penal ambiental, ausencia de la variable ambiental en la gestión oficial pública local, regional y nacional, ausencia de políticas ambientales, incumplimiento de los convenios internacionales, incumplimiento de leyes ambientales, injerencia de elementos extraños (concejos comunales, políticos, fuerza armada, colectivos, etc.), en la política ambiental en detrimento de autoridades y expertos en el área ambiental. En su balance del año 2016, VITALIS reseña nuevos problemas ambientales que se suman a los referidos en el 2015, entre los cuales es relevante mencionar los siguientes: 1) Débil respuesta a eventos climáticos (sequía, fenómenos como El Niño), 2) Deficiente gestión urbana, 3) Carencias de programas de educación ambiental y 4) Desarrollo no sustentable a escala nacional.

II.4.5 Institucionalidad en cambio climático a nivel local, en Venezuela

Se identifican para el país, algunas iniciativas de gobiernos locales y de empresas privadas, sin que ello derive de una institucionalidad ambiental definida a escala nacional y específica para cambio climático.

Entre las iniciativas emprendidas por gobiernos locales, y respecto a políticas de adaptación planificada (Noble *et al.*, 2014), pueden identificarse para Venezuela, acciones que forman parte del Plan Caracas 2020 desarrollado por la Gerencia de Ambiente de la Alcaldía Metropolitana de Caracas (2011). Este tipo de iniciativas son promovidas por los gobiernos a escala global, y fortalecidas a través de la participación e intercambio de experiencias locales en redes internacionales. El Plan Caracas 2020 comprende, entre sus líneas estratégicas, hacer sostenible a la ciudad mediante la formulación de una política ambiental basada en la adecuación al cambio climático y la gestión de riesgos, así como en la conservación de la biodiversidad, la gestión integrada de los recursos hídricos, la gestión integrada de los residuos y desechos sólidos, y la promoción del consumo responsable (Plan Caracas 2020, 2011). Esta iniciativa del gobierno local de la ciudad de Caracas, capital de la República, la comparte a través del Grupo de Liderazgo Climático C40 *Cities*, junto a Bogotá (Colombia), Buenos Aires (Curitiba, Río de Janeiro y Sao Paulo (Brasil), Lima (Perú) y Santiago de Chile (Chile) (Magrín *et al.*, 2014). En el [cuadro II.4.4](#) se indican los objetivos, estrategias y proyectos del Plan Caracas 2020.

Se identifican algunas iniciativas llevadas a cabo por la empresa privada, que tienden a incorporar previsiones y comportamientos institucionales vinculados al ambiente y al cambio climático. La normalización ambiental, por ejemplo, ha estado fundamentada sobre la base de las ISO 14000, estándar internacionalmente aceptado que regula la gestión ambiental de los países. En el caso de Venezuela, las normas nacionales han estado amparadas por las normas COVENIN; en la actualidad FONDONORMA se encarga de la normalización, facilitando la información que requieren las empresas para ajustarse a los estándares necesarios para las actividades a desempeñar, en este caso particular, aquellas vinculadas con el ambiente. A nivel de la empresa privada, estas mediciones son prácticamente

Cap. II.4 - Institucionalidad en cambio climático

II.4 inexistentes, siendo muchas, al igual que las grandes empresas públicas, fuentes de emisiones GEI. Entre las empresas privadas, las que mayormente contribuyen como fuentes emisores GEI son los sistemas de transporte terrestre y acuático, líneas aéreas, comercios, hoteles, instituciones educativas, e incluso los hogares. No existe legislación específica que permita realizar un control sobre estas fuentes de emisiones GEI en el país, por lo que urge legislar al respecto. Aún así pueden identificarse algunas iniciativas privadas que a título voluntario, miden sus emisiones GEI, lo que sin duda les dará una ventaja competitiva para cuando sea una obligación de ley. Las empresas asumen estas acciones de mitigación, como estrategia preventiva para la protección de exportaciones, debido a las exigencias de mercados importadores o de multinacionales apostadas en el país. Al respecto es importante acotar que si Venezuela realmente está interesada en cumplir con su NDC, es perentorio normar acerca de la huella de C de sus fuentes de emisión GEI, públicas y privadas.

Cuadro II.4.4 Políticas ambientales para la adecuación al cambio climático y la gestión de riesgos. Plan Caracas 2020.

Objetivos	Estrategias	Proyectos
Evaluar el comportamiento del clima en el AMC y sus impactos sobre la seguridad de las personas y consecuencias sociales.	Diseño de un programa de reducción de riesgos ambientales y adaptación al cambio climático a través de la construcción de un centro de operaciones que trabaje con sistemas de monitoreo.	Finalizar los mapas de riesgo meteorológicos del AMC.
Ejecutar acciones mancomunadas para fomentar las relaciones interinstitucionales entre los organismos competentes para la Gestión de Riesgo, adecuándolas a la legislación vigente.	Instalar un observatorio de la Eco-Región Metropolitana para el monitoreo de la calidad del aire.	Sistema de monitoreo ambiental y alerta temprana del Área Metropolitana de Caracas que reduzca la vulnerabilidad y la transferencia de riesgo.
Establecer un programa de incentivos para la reubicación de personas que viven en viviendas improvisadas construidas en zonas vulnerables.	Instalar sistemas de alerta temprana en las quebradas identificadas como las de mayor riesgo y los respectivos planes preventivos.	Centro de operaciones de emergencias metropolitanas y sala situacional de seguimiento, control y manejo de crisis.
		Programa SINaxis Caracas, para una Caracas ambientalmente sostenible, segura y próspera

Fuente: recuperado de <https://plancaracas2020.wordpress.com/ambientalmente-sustentable/2015>.

Empresas de producción de productos masivos como Polar, además de cumplir con la normativa ambiental vigente, promueven la ecoeficiencia en los procesos de producción, para optimizar el consumo de materias primas, insumos, y recursos energéticos, así como la disminución de residuos sólidos, vertidos y emisiones atmosféricas, según señala su Reporte de Compromiso Social (2012). Empresas Polar cuenta, dentro de su estructura organizativa, con una Dirección Ambiental que permite cumplir con los compromisos ambientales nacionales. Respecto a las emisiones de GEI, la empresa reportó en su ejercicio 2012, que sus emisiones totales directas e indirectas de CO₂ se redujeron 5% en relación con el período anterior, y 8% en relación con la línea base. Con ello se logró reducir la emisión de 38.667 toneladas durante dos años (GHG, 2012). Dos casos de pequeñas empresas venezolanas sirven de ejemplo respecto a acciones de carácter voluntario dirigidas a reducir la huella de carbono.

La Venezuela de Antier y Yaracuy, ambas empresas del sector turístico nacional, han desarrollado un proyecto que busca medir el impacto ambiental de sus actividades en términos de emisión de GEI, a través de la medición de la huella de carbono y de un programa de compensación o neutralización de la misma mediante plantaciones forestales. Ambas empresas representan parques temáticos íconos del turismo venezolano que han sido certificados internacionalmente por la Fundación Al Verde Vivo de Bogotá, Colombia. El proyecto es desarrollado por el economista de la Universidad de Los Andes, especialista en desarrollo sustentable, Daniel Vásquez Uribe, quien se desempeña como gestor y analista de proyectos en la mencionada Fundación.

El estudio cuantificó las emisiones de CO₂ durante un año por la movilidad del parque automotriz de las empresas, consumo de electricidad, consumo de papel y producción de residuos. La Venezuela de Antier y Yaracuy esperan neutralizar alrededor de 450 toneladas de CO₂ eq mediante la plantación de más de 1.300 árboles. El proyecto se culminó a finales de 2013, luego del levantamiento de información y construcción de mapas de consumo de recursos para así hacer su posterior medición. Durante la etapa inicial, se midió la huella de carbono. El propósito ha sido implementar un componente de ecoturismo y responsabilidad ambiental. El proyecto se enmarca dentro de la responsabilidad social corporativa de ambas empresas. Otros ejemplos de empresas nacionales que han incorporado dentro de su institucionalidad aspectos ambientales y de cambio climático son: ALCAVE Venezuela Inc., Central El Palmar (empresa azucarera), la Cámara de Pequeños y Medianos Industriales del Estado Carabobo (CAPEMIAC), la Cámara de Comercio de Valencia (Edo. Carabobo), entre otras.

II.4.6 Conclusiones

La presente revisión de literatura sobre el tema de la institucionalidad en cambio climático en Venezuela, revela varios aspectos que deben ser atendidos a la luz de los compromisos país con la comunidad internacional, y en particular, con los venezolanos:

- No se identifica una institucionalidad relativa a cambio climático, o en su defecto, vinculaciones institucionales entre instancias de gobierno que tengan potestad para atender este problema.
- Dentro de la arquitectura institucional del país, se ha identificado al Punto Focal en Cambio Climático, adscrito al MPPRE, como la única dependencia de gobierno con la responsabilidad directa de atender el tema de cambio climático a escala nacional.
- El MINEA, no tiene contemplado el tema de cambio climático como problema de interés nacional. No está reflejado en sus áreas de interés ni en su arquitectura institucional.

- A pesar de que el Plan de Desarrollo Nacional 2013-2019 hace referencia al tema de cambio climático, no se identifican políticas nacionales que puedan operacionalizar las consideraciones que, sobre el tema, contempla dicho plan.
- La preexistencia de un marco legal ambiental nacional y la incorporación de instrumentos jurídicos de alcance internacional relativos a cambio climático, representan precondiciones de ventaja, ante los requerimientos normativos requeridos para atender las obligaciones derivadas de los compromisos país con el Acuerdo de París.
- Se constata la debilidad de un marco normativo en cambio climático desvinculado del resto de la normativa nacional, que evidencia el incumplimiento de los acuerdos internacionales en la materia, y deja desasistido al país institucionalmente para afrontar los riesgos derivados de este problema.
- Existe un rezago significativo en el cumplimiento de los compromisos país en cuanto a la CMNUCC y posteriores acuerdos derivados de las COP subsecuentes.
- El compromiso de Venezuela con cambio climático, definido en su Contribución Nacional (NDC), exige una institucionalidad que Venezuela no posee.
- Si bien Venezuela está presente en algunos escenarios del clima a escala regional, su participación es muy poco conocida, así como los compromisos que adquiere en cada reunión a la que asiste.
- La Asamblea Nacional de Venezuela (AN) ha dispuesto espacios legislativos para el tema del cambio climático, estableciendo amplios y permanentes intercambios con los actores sociales del país involucrados en el tema.
- Existen iniciativas a escala de gobiernos locales y de empresas que evidencian el desarrollo de una institucionalidad, sea ambiental o específica para cambio climático, sin que ello responda a lineamientos de política nacional.

Referencias

- Adger, W.E. (2001). Scales of governance and environmental justice for adaptation and mitigation of climate change, *J. Int. Dev.*, 13:921-931
- Alviárez, I. (2011). Legislación Ambiental. República Bolivariana de Venezuela. Ministerio del Poder Popular para el Ambiente. Dirección Estatal Ambiental Lara. Programa de Vigilancia y Control Ambiental. Presentación en Power Point, Recuperado de <http://www.slideshare.net/JosePineda8/legislacion-ambiental-12746376> (consultada el 05 de agosto 2015).
- Asenjo, R. (2006). Institucionalidad pública y gestión ambiental en Chile. *En Foco* 91: 1-19.
- Brondizio, E., Ostrom, E. & Young, O. (2009). Connectivity and the Governance of Multilevel Social-Ecological Systems: The Role of Social capital. *Annu. Rev. Environ. Resourc*, 34: 253–279. doi:0.1146/annurev.environ.020708.100707
- Brunner, R.D. (2010). Adaptive governance as a reform strategy. *Policy Sci* 43:301–341
- Camacho, O. (2004). *Retroceso glacial y colonización vegetal en los nuevos ambientes periglaciales de los Picos Bolívar, Humboldt y Bonpland*. Tesis en Geografía, Escuela de Geografía, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Universidad de Los Andes. Venezuela.
- CARNCC-AN. (2016). Comisión de Ambiente, Recursos Naturales y Cambio Climático. Asamblea Nacional. <http://www.asambleanacional.gob.ve/comision/id/9> (consultado el 19/10/16).
- CLCC-UCV. (2016). Consideraciones de la Catedra Libre de Cambio Climático de la Universidad Central de Venezuela ante el Acuerdo de Paris COP21.
- CMNUCC. (1992). Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC). Naciones Unidas
- Córdova, K. (2012). Geotecnología espacial aplicada al estudio del fenómeno de islas térmicas urbanas: contribución al estudio de la dinámica socio-ambiental de las islas de calor urbano en la ciudad de Caracas. *Facultad de Arquitectura y Urbanismo*, Universidad Central de Venezuela.
- CRBV. (1999). Constitución de la República Bolivariana de Venezuela.
- De Miguel, C., O'Rayn, R., Pereira, M. & Carriquiry, B. (2011). Políticas fiscales, impactos energéticos y emisiones de CO₂ en Chile. Serie Medio Ambiente y Desarrollo, 44. CEPAL
- Feliciangeli, M.D., Delgado-Petrocelli, L., Suarez, B. & Bravo, A. (2006) Leishmania and sand flies: proximity to woodland as a risk factor for infection in a rural focus of visceral leishmaniasis in west central Venezuela. *Tropical Medicine & International Health*, 11(12): 1785-1791
- FII (2006). Estudio de Prospección tecnológica sobre cambio climático. Fundación Instituto de Ingeniería. Ministerio de Ciencia y Tecnología. Venezuela. <http://saber.ucv.ve/>
- Gabaldón, A.J. (2006). Desarrollo Sustentable. La salida de América Latina. Editorial Grijalbo. Caracas
- Gabaldon, A.J. (2013). Estrategias para alcanzar el desarrollo sustentable de un país de economía rentista: Venezuela. En: *El Desafío del Desarrollo Sustentable en America Latina*. p 291-311. SOPLA. Konrad Adenauer Stiftung. Rio de Janeiro.
- GHG. (2012). Corporate Inventory of ALCAVE Venezuela Inc. (General Cable Subsidiary), Valencia, Venezuela.
- Herrera-Martínez A.D. & Rodriguez-Morales, A.J.. (2010) Potential influence of climate variability on dengue incidence registered in a western pediatric Hospital of Venezuela. *Trop Biomed*, 27(2):280-286.
- IIPSDeyS. (2013) II Plan Socialista de Desarrollo Económico y Social 2013-2019. Recuperado de : http://www.mppp.gob.ve/wp-content/uploads/2013/09/ley_plan_patria.pdf
- IPCC. (2014). Summary for policymakers. In: V.R. Barros, C.B. Field, D.J. Dokken, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, & L.L. White (Eds.). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC, 2014*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1499-1566. ISBN 978-1-107-68386-0. <http://ipcc-wg2.gov/AR5/report/citations/>.

- Jiménez, B.E., Oki, T., Arnell, N.W. Benito, G., Cogley, J. G. Döll, P., Mwakalila. S.S. (2014.) Chapter 3. Freshwater Resources. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 51p.
- Magrin, G., Marengo, J., Boulanger, J.P., Buckeridge, M., Castellanos, E., Poveda, G., Nobre, C., Scarano, F., & Vicuña, S. (2014). Chapter 27 "Central and South America". In V.R. Barros, C.B. Field, D.J. Dokken, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, & L.L. White (Eds.). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC*, 2014. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1499-1566. ISBN 978-1-107-68386-0. <http://ipcc-wg2.gov/AR5/report/citations/>.
- MARNR.(1996). Evaluación de los impactos del cambio climático en la costa venezolana por efecto del aumento en el nivel del mar. MARNR-USWildLife Service.
- MARNR. (1999). Inventario de Gases de Efecto Invernadero (INGEI).
- Méndez Bastardo, A. (2008). *Estructura jurídico-institucional marco aplicable al ecosistema de manglar en Venezuela*. Tesis de Especialización en Problemas del Desarrollo. Universidad Simón Bolívar (USB). Venezuela.
- MINANB. (2012). Oficina de Planificación y Presupuesto Dirección de Planificación Plan Operativo Anual Institucional 2012. www.minamb.gov.ve. Consultado el 11/05/12.
- MINAMB, (2013). Recuperado de: http://www.minamb.gov.ve/index.php?option=com_content&view=article&id=889:logros-ambientales&catid=53:logros-ambientales&Itemid=25. Consultado el 05/07/2013.
- MINEA. (2016) Ministerio para Ecosociaismo y Aguas. <http://www.minea.gov.ve/>(consultado el 15/10/16).
- Moreno, J.E., Rubio, E., Páez, Pérez, E. & Sánchez, V. (2007): Abundance, biting behaviour and parous rate of anopheline mosquito species in relation to malaria incidence in gold-mining areas of southern Venezuela. *Medical and Veterinary Entomology*, 21(4): 339-349.
- Morris, J.N., Poole, A.J. & Klein, A.G. (2006). Retreat of Tropical Glaciers in Colombia and Venezuela from 1984 to 2004 as Measured from ASTER and Landsat Images. *Proceedings of 63rd EASTERN SNOW*
- Noble, I., S. Huq, Y. Anokhin, J. Carmin, D. Goudou, F. Lansigan, B. Osman-Elasha & A. Villamizar. (2014). Adaptation Needs and Options. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 51p.
- Perdomo, M. (2012a). Proyecto Carbono 2012: Hacia un Desarrollo bajo en Emisiones. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Programa Regional PNUD LAC, Panamá, Panamá. 35pp.
- Perdomo, M. (2012b). Proyecto Políticas Públicas Climáticas 2012: preparando estrategias climáticas. Programa para el Desarrollo de Naciones Unidas, Centro Regional LAC, Panamá, Panamá. 76pp.
- Plan Caracas 2020. (2011). Alcaldía del Área Metropolitana de Caracas. Plan estratégico metropolitano. www.plancaacas2020.com
- Protocolo De Kyoto (1997). Naciones unidas, Recuperado de : <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>
- Purdy, J. (2010). The Politics of Nature: Climate Change, Environmental Law, and Democracy. *The Yale Law Journal*, 119: 1122-2010
- Red Ara. (2011). Aportes para un diagnóstico la problemática ambiental en Venezuela: Una visión desde la Red Ara. <https://drive.google.com/file/d/0B5CV2YJ5UI8WYmUzM2JhYTEtMzRjYi00NTY3LTg5YWYtYm12M2QwZDQwNjVj/view?pli=1>
- República Bolivariana de Venezuela (2009). Ley de Gestión de Riesgos Socionaturales y Tecnológicos. G.O. N° Gaceta Oficial N° 39.095 del 9 de enero de 2009.
- República Bolivariana de Venezuela (2013). G.O. N° 40.252, del 17/09/2013: Creación del Viceministerio para la Gestión de Riesgo y Protección Civil.

- Reuveny, R., (2007). Climate change-induced migration and violent conflict. *Political Geography*, 26(6): 656-673.
- RIOCC. (2015). Red Iberoamericana de Oficinas de Cambio Climático. <http://www.lariocc.es/es/reuniones-documentos/>
- Rodríguez, J.P., Rojas-Suárez, F. & Hernández, D. (2010) Libro Rojo de los Ecosistemas Terrestres de Venezuela Provita, Venezuela, pp. 324.
- Romero, C. (2014). El Cambio Climático y la ley como expresión de compromiso político, *PolitikaUCA*, <https://politikaucab.net/2014/10/23/el-cambio-climatico-y-la-ley-como-expresion-de-compromiso-politico/>(consultado el 09/08/2016)
- Toro, J., García, A. & Romero, L. (2008). Efectos del calentamiento global ¿Nieves eternas en la Sierra Nevada de Mérida? *Investigación*, 90-93.
- UNFCCC (2015). Recuperado de: http://unfccc.int/national_reports/non-annex_i_natcom/submitted_natcom/items/653.php, septiembre 2015
- Vergara, W., A.R. Rios, L.M. Galindo, P. Gutman, P. Isbell, P. H. Suding, J. L. Samaniego. (2014). El desafío climático y de desarrollo en América Latina y el Caribe: opciones para un desarrollo resiliente al clima y bajo en carbono. BID-CEPAL-WWF 113pp.
- VITALIS. (2015). Situación Ambiental de Venezuela 2015. Análisis de Percepción del Sector. Editores y Compiladores: D. Díaz Martín, Y. Frontado, M. Da Silva, A. Lizaraz, I. Lameda, V. Valera, C. Gómez., E. Monroy, Z. Martínez, J. Apostólico y G. Suárez. 42 pp. Disponible online en: www.vitalis.net (consultado el 02/07/2016).
- VGRPC. (2014). Avances de la gestión de riesgo en Venezuela y su prospectiva. Vice Ministerio de Gestión de Riesgos y Protección Civil. Venezuela. 79pp.
- Villamizar, A. (2011). Adaptación al Cambio Climático y políticas públicas: una deuda de alto riesgo para América Latina? *Mundo Nuevo*, 1(6):301-338
- Villamizar, A. 2013. Institucionalidad ambiental para “Salvar al Planeta”. Una mirada desde el portal gubernamental en materia ambiental del Estado Venezolano. *Boletín del Instituto de Estudios Políticos Fermín Toro*, 6: 1-20. Caracas.
- Villamizar, A. (2017). *Lineamientos para una institucionalidad prospectiva en cambio climático para México*. Tesis Doctoral. Decanato de Postgrado. Coordinación de Desarrollo Sostenible. Universidad Simón Bolívar. Venezuela. 340pp.
- Whitehead, L. (2001). *Democratization: Theory and Experience*, Oxford: Oxford University Press.
- Yerena, E. (2011). La Guayana venezolana: sostenibilidad ambiental incierta. *Revista Mundo Nuevo*, 6: 339-368
- Youngs, R. (2010). Energy. A reinforced obstacle to democratization? En: *New challenges to Democratization*. Burnell and Youngs Editors. Routledge N.Y.



II.5 EDUCACIÓN AMBIENTAL Y CAMBIO CLIMÁTICO

Coordinador líder
Nila Pellegrini

Autor líder
Alejandro Álvarez

Palabras clave: educación ambiental, capacitación, participación ciudadana, América del Sur, Venezuela.



Figura II.5.1 Educando a los futuros profesionales Campus de Sartenejas, Universidad Simón Bolívar (Venezuela). Fotografía Alicia Villamizar.

II.5.1 Introducción

La educación ambiental está contemplada en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC, 1992), en su artículo 6. A través del mismo, se busca promover la ejecución de programas de educación en relación con el cambio climático, el acceso del público a la información, la participación ciudadana en el conocimiento y búsqueda de soluciones, así como la formación de personal especializado. Posteriormente, el Protocolo de Kioto (1997), recomienda el desarrollo de programas internacionales de cooperación que aumenten las capacidades nacionales en materia de educación y capacitación.

El desarrollo del artículo 6 se ha realizado a través de la aprobación de sucesivos “Programas de Trabajo”, que establecen las orientaciones generales para el desarrollo de estos programas educativos, tanto para los países firmantes de la Convención (Partes), como para los organismos internacionales. En el último de los programas, aprobado en el 2012 en la Conferencia de las Partes (COP18) en Doha (Qatar), se define como objetivo de la educación: promover los cambios necesarios en los estilos de vida, las actitudes y los comportamientos para fomentar el desarrollo sostenible y preparar a los niños, los jóvenes, las mujeres, las personas con discapacidad y las comunidades de base, para que se adapten a los efectos del cambio climático (CMNUCC, 2012). Asimismo, define un marco para el desarrollo de acciones concretas para las partes, establece la designación de puntos focales por cada una de las partes, sugiere la realización de evaluaciones sobre temas propios del artículo 6 y recomienda el desarrollo de estrategias nacionales en relación con los temas presentes en el artículo 6, entre otros aspectos.

Posteriormente, en ocasión de la realización de la COP 20 (2014) en Lima, Perú, se reafirmó la importancia de la educación en el logro de los objetivos de la CMNUCC (1992), recomendando: la elaboración de programas de educación y participación relacionados con el cambio climático a nivel regional, subregional y nacional; alentar la incorporación de aspectos relacionados con el cambio climático en los programas de estudio; así como formular y aplicar estrategias y políticas nacionales sobre desarrollo y cambio climático.

Venezuela no escapa a la situación de la mayoría de los países: sólo un limitado número de Partes han seguido las recomendaciones del Programa de Acción de Doha (*Climate Action Network*, 2015); a pesar de ello, a partir de la documentación disponible, es posible realizar una evaluación preliminar sobre las políticas públicas y el desarrollo de acciones en relación con el Artículo 6 en Venezuela.

II.5.2 La educación sobre cambio climático en Venezuela desde el gobierno nacional

II.5

Venezuela no cuenta con una estrategia nacional educativa en materia de cambio climático, ni existe información sistematizada sobre los esfuerzos realizados por el gobierno nacional en este sentido.

A pesar de ello, una serie de documentos oficiales permiten discernir algunas orientaciones, políticas y acciones emprendidas desde el gobierno nacional en esta materia.

Un primer antecedente sobre el tema, se encuentra en el documento “Autoevaluación Nacional sobre las Necesidades de Fortalecimiento de Capacidad ANNFC” (Martelo, 2007), en el cual se realiza un diagnóstico de la situación del país en términos de sus debilidades y necesidades en el contexto del cambio climático. En este documento se reconoce la necesidad de implementar programas de educación en el contexto del cambio climático, y se considera como una de las prioridades a desarrollar el “dirigir hacia las comunidades campañas de divulgación, capacitación y educación (sensibilización), a fin de incrementar su grado de participación”.

En el mismo documento se identifican limitaciones en la formación del personal requerido para el desarrollo de programas de lucha contra el cambio climático, y la escasa participación de las comunidades en la definición de actividades de naturaleza ambiental; así mismo, se reconocen oportunidades a partir de la existencia de programas de sensibilización, información y educación informal realizados por diversos organismos públicos, ONG’s y otras organizaciones, y se concluye sobre la necesidad de fortalecer los planes de educación ambiental formal y no formal, a todos los niveles de escolaridad, así como la capacitación y formación de recursos humanos en las instituciones, sobre los tres temas, adaptados a modelos de desarrollo ambiental sano.

Otros documentos tales como: MARN (2003), Ministerio del Poder Popular para el Ambiente (2012a, 2012b), Ministerio del Poder Popular para la Educación (2010, 2011), permiten tener un panorama básico de las acciones del Estado venezolano en materia de educación en el contexto del cambio climático.

Es posible identificar dos ámbitos donde se han venido realizando esfuerzos nacionales en materia de educación en el contexto del cambio climático por parte del Estado venezolano, principalmente por parte del Ejecutivo Nacional: la educación formal o escolarizada, y la educación ambiental no formal (en ocasiones expresada como educación ciudadana, sensibilización o concienciación pública). Aunque ambos ámbitos son necesariamente complementarios (Novo, 1996), sus esferas de acción, objetivos, promotores y público al cual van dirigidos, etc., son suficientemente diferenciados, por lo cual son descritos por separado.

En el ámbito de la educación formal, las políticas públicas en Venezuela han experimentado una secuencia de transformaciones en los últimos años, producto de los cambios en el modelo político e ideológico promovido por el gobierno nacional, en la cual se insertan una serie de intentos sucesivos de modificar los programas escolares (Ministerio de Educación y Deportes, 2004; Ministerio del Poder Popular para la Educación, 2011; Valente, 2014; Ministerio del Poder Popular para la Educación, 2017). El desarrollo de este proceso no ha estado exento de polémica; existen diferencias entre las políticas oficiales y la realidad operativa, así como, evidencias de sucesivos avances y retrocesos en los procesos de implantación de los nuevos programas educativos (Fernández *et. al.*, 2009; Rodríguez, 2008; Ortiz & Parra, 2008; Valente, 2014; Cantón Mayo & Barrios Briceño, 2014)

En este contexto de transformaciones constantes, el Ejecutivo Nacional ha venido realizando una serie de acciones para la inclusión de contenidos relacionados con el cambio climático en distintas asignaturas y niveles del Sistema Educativo Nacional.

Una primera acción en este sentido, fue la inclusión de contenidos en los distintos niveles y áreas de aprendizaje del Currículo Nacional Bolivariano (Ministerio del Poder Popular para la Educación, 2007a, 2007b), el cual fue inicialmente implementado en las escuelas públicas definidas como “Bolivarianas”, pertenecientes a un proyecto nacional de transformación de las instituciones educativas (Rodríguez, 2008). Adicionalmente, fueron incluidos otros contenidos relacionados que pueden servir de apoyo a procesos de mitigación y adaptación al cambio climático, tales como: conceptos ecológicos, nociones de conservación y ética ambiental, formación para el “desarrollo endógeno sustentable” y análisis político de las causas y efectos de los problemas ambientales, incluyendo los directamente relacionados con el cambio climático.

Por su parte, el Ministerio del Poder Popular para el Ambiente desarrolló un documento de orientación denominado “Líneas Orientadoras de la Educación Ambiental en el Marco del Eje Integrador Ambiente y Salud Integral para el Subsistema de Educación Básica” (Ministerio del Poder Popular para el Ambiente, 2012), que incluye una breve referencia a este fenómeno en la presentación, y una actividad sugerida, en relación con las causas del cambio climático.

Más adelante, el Ministerio del Poder Popular para la Educación (2012), incorporó contenidos relacionados con el cambio climático en la llamada “Colección Bicentenario”. Estos son textos escolares en diferentes áreas (Lengua y Literatura, Matemática, Ciencias Naturales y Ciencias Sociales), de uso exclusivo, gratuito y obligatorio en las escuelas públicas dependientes del Ejecutivo Nacional. En los mismos aparece el tema del cambio climático insertado en diferentes asignaturas y niveles escolares, frecuentemente usando un enfoque ideologizado del tema, en concordancia con el que se la ha dado a la política nacional en materia de este fenómeno (Phynatura *et al.*, 2016). Como ejemplo de este

enfoque puede revisarse el texto de Ciencias Sociales, 3er Año, pág. 86 y siguientes (Ministerio del Poder Popular para la Educación, 2014).

Como parte del proyecto de las “Canaimas Educativas” (computadoras portátiles entregadas a los estudiantes de instituciones educativas oficiales), el Ministerio del Poder Popular para el Ambiente elaboró materiales y contenidos, incorporados a las mismas, que incluyen temas de cambio climático, en los llamados “Recursos Digitales para el Aprendizaje”, elaborados en el nivel de educación primaria del subsistema de educación básica (ADAs) y en los “Recursos Digitales para el Aprendizaje” elaborados en el nivel de educación media del subsistema de educación básica. Estos materiales educativos fueron valorados positivamente en una evaluación de la situación ambiental del país (VITALIS, 2014).

Estos materiales no han estado exentos de polémica. En el caso de los textos escolares, pueden conseguirse observaciones favorables, así como cuestionamientos desde diferentes ángulos, principalmente por razones ideológicas (Aguirre, 2014), pero también por motivos de forma y contenido de los mismos (UCAB, 2011; Certad, 2012).

Un elemento adicional en la implementación de temas relacionados con el cambio climático es el desarrollo de orientaciones, objetivos y contenidos en relación con la gestión de riesgos socio-naturales a ser implementados en el sistema educativo (Ministerio del Poder Popular para la Educación, 2011)

No se cuenta, o no están disponibles, evaluaciones sobre la extensión de la aplicación, continuidad y resultados en términos educativos de estos procesos educativos, tanto en lo que respecta a la educación ambiental en general, como en particular al tema del cambio climático. Esta situación es en parte producto de: la “implementación flexible del currículo”, que es una de las orientaciones de las Escuelas Bolivarianas; las deficiencias observadas en las prácticas pedagógicas y las condiciones necesarias para mejorar las mismas (Rodríguez, 2008); así como de la ausencia de toda evaluación de la educación venezolana desde 1998 (Murillo & Román, 2008)

En agosto del año 2017, se oficializó un nuevo plan de estudios para la educación media general, aplicable a todas las instituciones del país que trabajan en ese nivel educativo. En función del mismo plan, el Ministerio del Poder Popular para la Educación (2017), definió el enfoque y las áreas de formación; y para cada una de ellas, estableció las unidades de aprendizaje, temas generadores y referentes teórico-prácticos. En los tejidos temáticos presentados, se incluyen aspectos referidos al cambio climático en las áreas de formación (asignaturas) de Ciencias Naturales (1ro a 3er Año), Biología, Química, Física e Inglés (4to y 5to Año).

El tema “Cambio Climático” se presenta de manera dispersa a lo largo de los programas presentados, con referencias conceptuales heterogéneas, y de manera aparentemente desarticulada.

No se presentan elementos prácticos para la comprensión del mismo, ni acciones concretas que permitan promover cambios en los estilos de vida, actitudes y comportamientos en función de la adaptación al cambio climático, tal como lo define el Programa de trabajo de Doha sobre el artículo 6 de la Convención (CMNUCC, 2012). Un elemento adicional es que, aparentemente, no están coordinados los temas o referentes indicados, con los contenidos existentes en la Colección Bicentenario.

Con respecto a la educación no formal o no escolarizada, realizada por las instituciones del Estado venezolano, se hace mucho más difícil describir su desarrollo actual, debido tanto a su enorme heterogeneidad de procesos, ámbitos de trabajo y grupos metas, como a la ausencia de sistematizaciones de estos procesos, los cuales, con frecuencia, se presentan más como actividades aisladas, que como procesos conducentes a objetivos definidos. A pesar de ello, es posible, al menos, hacer una primera aproximación a la diversidad de acciones realizadas, a partir de las acciones descritas en el documento “Contribuciones Previstas Nacionalmente Determinadas de la República Bolivariana de Venezuela para la lucha contra el Cambio Climático y sus efectos” entregado por el gobierno venezolano en el contexto de la COP21 en París en el año 2015 (República de Venezuela, 2015)

En este documento se expone una serie de actividades como acciones educativas en el contexto del cambio climático, las cuales incluyen: a) Sector energético: programas de uso racional de la energía (“Programas de Educación Energética”, campañas comunicacionales); b) Sector agrícola: programas de formación agroecológica (“Todas las Manos a la Siembra”). c) Sector ambiental: “Mesas Técnicas de Agua”, “Misión Árbol”, elaboración de materiales educativos por parte del Ministerio de Ecosocialismo y Aguas, grupos y organizaciones ambientalistas articuladas con la acción de gobierno.

No se conoce si alguno de estos programas ha sido evaluado en su pertinencia, eficacia e impacto.

II.5.3 La educación sobre cambio climático desde el sistema de educación universitario

Las instituciones de educación superior del país realizan dos tipos de actividades referidas a la educación en el contexto del cambio climático: actividades de formación (ver CMNUCC, 2012, pg. 23, párrafo 17), y las de educación y sensibilización del público (ver CMNUCC, 2012, párrafos 16 y 18), siendo esta última conocida en el lenguaje universitario como extensión universitaria.

Con respecto a las actividades de formación, no es factible conseguir información sistematizada sobre estos programas. Existen algunas asignaturas en programas de formación de tercer y cuarto nivel, con contenidos relacionados con este fenómeno, en carreras como ingeniería sanitaria, ingeniería civil,

biología, ingeniería de recursos naturales y medicina, entre otros, en universidades tales como la UCV, USB, ULA, UNELLEZ y otras. Carvajal *et. al.* (2013), señalan la existencia de algunas asignaturas propuestas y proyectos de formación, en distintos programas de estudio, y también de asignaturas electivas de postgrado y del ciclo profesional, en la Universidad Simón Bolívar (USB).

Por su parte, Ferrara *et. al.* (2014), documentan el trabajo que viene realizando la Cátedra Libre de Cambio Climático de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela (CLCC-UCV), dando cuenta de la existencia de dos asignaturas sobre cambio climático adscritas a la Facultad de Ingeniería, que pueden ser vistas por diferentes carreras, a través del Programa de Cooperación Interfacultades (PCI) de la UCV. Recientemente, la CLCC ha ofertado para la Facultad de Ciencias, específicamente para el Postgrado en Ecología, la asignatura “Cambio climático, desarrollo y ambiente en un mundo cambiante”. Asimismo, existen propuestas de transversalización de temas de riesgo en el contexto del cambio climático, en la Escuela de Geografía de la Facultad de Humanidades y Educación de la UCV (Córdova, 2009).

Con respecto a la educación ambiental no formal, o sensibilización del público, las instituciones de educación superior están realizando diversas actividades para diversos públicos, en una variedad amplia de contextos. A pesar de ello, no se ha realizado un inventario de actividades, instituciones involucradas, públicos atendidos, y mucho menos se ha evaluado su posible efectividad. No obstante, se observa un interés permanente de estas instituciones por educar a la población en materia de cambio climático, tal como es reflejado por las ponencias presentadas por estas instituciones en los sucesivos Simposios Nacionales de Cambio Climático organizados por la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales.

Algunos ejemplos importantes incluyen actividades de extensión realizadas por universidades (Ferrara *et al.*, 2013; Marrero, 2013; Rodríguez & López, 2013; Ceballos, *et al.*, 2016; Lucena, *et al.*, 2016; Sáez, *et al.*, 2016; González Ordóñez, 2016). Una primera aproximación no sistemática al respecto de las actividades realizadas, arroja la ejecución de una variedad de actividades incluyendo charlas, conferencias, foros, trabajos con comunidades y otras acciones.

II.5.4 La educación sobre cambio climático desde las organizaciones de la sociedad civil

Se conoce de una extensa variedad de actividades realizadas por organizaciones de la sociedad civil venezolana (ONG's), con respecto a la sensibilización e información en materia de cambio climático. A pesar de ello, pocas de estas experiencias son sistematizadas y sus resultados publicados o presentados en eventos académicos, por lo que no es posible dar cuenta de las características, públicos, estrategias utilizadas y resultados obtenidos.

Como excepciones a esta circunstancia, es posible nombrar el programa “Yo cambio”, realizado por la ONG Provita (Peláez, 2016; Bethelmy, 2016), y el programa de educación en gestión de riesgos en el contexto del cambio climático aplicado a comunidades altoandinas, que ha venido efectuando la organización Geografía Viva (Kaplún Hirz, 2016).

II.5.5 Investigación educativa en el contexto del cambio climático

Un elemento adicional en el tema de la educación en el contexto del cambio climático, es la realización de investigación educativa con respecto a los contextos, estrategias y acciones en materia educativa. Hasta este momento, se han encontrado cinco artículos publicados (Camargo, 2008; Rodríguez & Rangel, 2010; Olivares, 2014; Gómez & Moncada, 2015; Rodríguez, 2015). El reducido número de publicaciones disponibles no permite hacer inferencias sobre los objetivos, temáticas y resultados obtenidos, pero resulta un indicador importante de la necesidad de promover la investigación educativa en este campo.

En el tema de investigación, son relevantes los estudios de percepción y conocimiento del público en relación con el cambio climático. Los trabajos conseguidos hasta el momento, unos pocos realizados en el país y otros con una perspectiva amplia, dan pistas sobre la situación del conocimiento y valoración del público del cambio climático. En tal sentido, los resultados de una encuesta nacional realizada para revisar la percepción pública de la ciencia en Venezuela (Cruces & Vessuri, 2004), muestran que, para el momento del estudio, los temas relacionados con cambio climático (efecto invernadero, recalentamiento global y cambio climático), resultan moderadamente importantes para los encuestados (2004: 89), aunque los mismos se consideren relativamente poco informados al respecto de los temas ambientales en general (2004: 86). Igualmente, el estudio reporta que las fuentes de información más importantes, para el público venezolano, son la prensa escrita y la televisión, en ese orden (2004: 93-100).

Por su parte, un estudio realizado por la firma encuestadora Gallup (Pugliese & Ray, 2011) sobre percepción de riesgo, encuentra que América Latina es la región donde un número mayor de personas son conscientes de los peligros derivados del cambio climático, y los consideran como una amenaza personal. Los autores consideran que ello puede deberse a los efectos de fenómenos meteorológicos catastróficos como los sufridos por Venezuela en 1999, y que el gobierno los asoció con el cambio climático.

Igualmente, un estudio sobre las amenazas percibidas globalmente realizado por el *Pew Research Center* (2015), encuentra que, para el caso de Venezuela, las dos amenazas percibidas en mayor grado son la inestabilidad económica y el cambio climático global. En una escala local, Espinoza

et. al (2012), reportan cómo los pobladores, en una zona rural, perciben cambios en los patrones ambientales locales.

II.5.6 Conclusiones

- Aún, cuando se cuenta con convenios, acuerdos y programas de trabajo a nivel internacional, referidos a promover programas de educación en relación al cambio climático, Venezuela no cuenta con una Estrategia Nacional Educativa en esta materia. Pese a ello, una serie de documentos oficiales permiten discernir algunas orientaciones políticas y acciones iniciadas por el gobierno nacional.
- Un diagnóstico de la situación del país en términos de las debilidades y necesidades en materia de cambio climático, refleja la necesidad de implementar programas de educación, a través de campañas divulgativas, capacitación, y sensibilización en este tema de interés estratégico para el país.
- A nivel de educación formal, se han realizado acciones para incluir contenidos relacionados con el cambio climático en diversas asignaturas y niveles del Sistema Educativo, tales como: mitigación y adaptación al cambio climático, conceptos ecológicos, de conservación y ética ambiental, formación para el desarrollo endógeno sustentable, análisis de las causas y efectos de los problemas ambientales y, gestión de riesgos socio-naturales.
- Con respecto a la educación no formal, entendida como educación ciudadana, sensibilización o concientización pública, se reconocen actividades que incluyen aspectos relacionados con cambio climático en sectores como el energético, agrícola y ambiental. Pero no han sido evaluados en su pertinencia e impacto.
- Con relación a la educación sobre cambio climático desde el sistema de educación universitaria, se identifican en términos generales, dos tipos de actividades: a) las de formación presentes en algunas asignaturas en carreras como Ingeniería Sanitaria, Ingeniería Civil, Biología, Ingeniería de los Recursos Naturales y Medicina, y post grados relacionados con el área ambiental; así como el trabajo que se viene realizando desde la Cátedra Libre de Cambio Climático de la Facultad de Ingeniería de la UCV; y b) las de educación y sensibilización del público, entendida como actividades de extensión.
- Las actividades vinculadas al tema de cambio climático realizadas por las organizaciones de la sociedad civil venezolana son poco sistematizadas pero cabe mencionar la actividad de educación en gestión de riesgo que viene adelantando la ONG Provita, dirigido a comunidades altoandinas.

- En el área de investigación en cambio climático, son pocos los trabajos publicados, siendo relevantes los de percepción y conocimiento del público en relación al tema; clima y variabilidad climática, salud humana, aumento en el nivel del mar y en algunos ecosistemas marinos.

Referencias

- II.5
- Aguirre, M. (2014) Libros para Perpetuar la Pobreza. Foro CERPE. Serie EDUCALIDAD. Cuaderno nº 1. Recuperado de: http://www.cerpe.org.ve/tl_files/Cerpe/contenido/documentos/Observatorio%20EDUCAPAIS/Libros%20para%20perpetuar%20la%20pobreza-%20Investigacion%20Marta%20Aguirre-octubre%202014.pdf (Revisado el 04/09/2015)
- Camargo Mora, M.G. (2008). Comprendiendo el Cambio Climático: Del conservacionismo a la concienciación ambiental. *Humania del Sur*. 3(4): 33-52.
- Cantón, I. y Barrios, N. (2014) Calidad de las Escuelas Bolivarianas de Venezuela. *Revista Fuentes*, 16 : 155-172. Recuperado de: http://institucional.us.es/fuentes/gestor/apartados_revista/pdf/campo/loyldhdt.pdf (Revisado el 04/09/2015)
- Carvajal, A., Córdova, Y. y Oletta, J.F. (2013) El Cambio Climático en la Educación Médica y de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. UCV (Resumen) Memorias del Primer Simposio Nacional Sobre Cambio Climático: Perspectivas para Venezuela. Academia de Ciencias Físicas Matemáticas y Naturales. Caracas.
- Certad, P. (2012) Análisis de contenido del texto escolar de ciencias naturales tercer grado: Colección Bicentenario la tierra: nuestro hogar. *Investigación y Postgrado*. 27(1): 139-162.
- CMNUCC. (1992) Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático.
- COP18 (2012). Conferencia de las Partes en Cambio Climático. Doha, Qat.
- COP20 (2014) Conferencia de las Partes en Cambio Climático. Lima, Perú.
- Cruces y Vessuri, 2004. Ciencia y Tecnología. Venezolan@s participan y opinan. Primera Encuesta Nacional de Percepción Pública de la Ciencia, Cultura Científica y Participación Ciudadana. Caracas, Ministerio de Ciencia y Tecnología.
- Espinoza, Y., Obispo, N., Gil, J.L., Rodríguez, M.F., Cortéz, A. Rey, J.C., Parra, R.M., Espinoza, F. y Seijas, L. (2012) Percepción de cambio climático en la población rural La Guama, San Sebastián de los Reyes, Aragua, Venezuela. *Rev. Fac. Agron. (UCV)* 38(3): 106-114.
- Fernández, M.E., Meza, M. y Magro, M. (2009) ¿Qué es y hacia dónde va la escuela venezolana? *Paradigma*, 30(2): 21 – 37.
- Ferrara, G., Martelo, M. T., Laret, R., Sánchez, J., Dehays, J., Martelo, M. y Villamizar, A. (2013) La Educación y la Participación Ciudadana como medidas de Adaptación al Cambio Climático: Una experiencia positiva, la Cátedra Libre de Cambio Climático de la FI-UCV (Resumen) Memorias del Primer Simposio Nacional Sobre Cambio Climático: Perspectivas para Venezuela. Academia de Ciencias Físicas Matemáticas y Naturales. Caracas.
- Gómez, A. y Moncada J.L. (2015). Ideas sobre cambio climático y consumo energético en estudiantes de Ingeniería de la UNEXPOLCM. *Revista de Investigación*, 39 (85): 93-113.
- Marrero, M. (2013) La Mitigación de Riesgos ante desastres socio naturales desde COMIR-UCV. Una iniciativa para la reducción de los impactos del Cambio Climático. (Resumen) Memorias del Primer Simposio Nacional Sobre Cambio Climático: Perspectivas para Venezuela. Academia de Ciencias Físicas Matemáticas y Naturales. Caracas.
- Méndez, E. (s.f.) Análisis de la Colección Bicentenario. Área Ciencias Naturales 1º a 6º grado. Centro de Formación e Investigación Padre Joaquín. Fe y Alegría. Recuperado de: <https://drive.google.com/file/d/0B84KavFo5RkbZ21iUGxKM2VrLXQ5N3JfY2k5TGVRcElqRFdV/edit?pli=1> (Revisado el 03/09/2015)
- MARN. (2003) Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales. La Política de Educación Ambiental y Participación del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales: Nuevas orientaciones para una sociedad ambientalmente participativa y protagónica. Serie Educación Participación y Ambiente Año 7 N° 16. MARN. Caracas.
- Ministerio de Educación y Deportes (2004) Liceo Bolivariano. Adolescencia y juventud para el desarrollo endógeno y soberano. Autor.

- Ministerio del Poder Popular para el Ambiente (2012a) Líneas Orientadoras de la Educación Ambiental en el Marco del Eje Integrador Ambiente y Salud Integral para el Subsistema de Educación Básica. Autor.
- Ministerio del Poder Popular para el Ambiente. (2012b). Política y Estrategia Nacional de Educación Ambiental y Participación Comunitaria. Autor.
- Ministerio del Poder Popular para la Educación (2011) Orientaciones educativas para la gestión integral del riesgo en el Subsistema de Educación Básica del Sistema Educativo Venezolano. Autor.
- Ministerio del Poder Popular para la Educación (2012) Orientaciones para la Implementación del Programa de Recuperación Psicosocial de Familias, Escuelas y Comunidades después de Emergencias y Desastres en la República Bolivariana de Venezuela. Autor.
- Ministerio del Poder Popular para la Educación, (2007a), Subsistema Educación Primaria Bolivariana. Currículo. Autor.
- Ministerio del Poder Popular para la Educación, (2007b) Subsistema Educación Secundaria Bolivariana. Liceos Bolivarianos. Currículo. Autor. Recuperado de: <https://www.thegef.org/gef/sites/thegef.org/files/documents/document/nicsa-venezuela-fr-ap-SP.pdf>
- Novo, M.T. (1996) La Educación ambiental formal y no formal: dos sistemas complementarios Revista Iberoamericana de Educación. 11: 75-102. Recuperado de: <http://www.rieoei.org/oeivirt/rie11a02.pdf>
- Olivares, B.A. 2014. Sistematización del conocimiento ancestral y tradicional de la etnia kariña en el estado Anzoátegui, Venezuela. Revista de Investigación 82 (38): 89-101.
- Pew Research Center, (2015) Climate Change Seen as Top Global Threat. Recuperado de: <http://www.pewglobal.org/2015/07/14/climate-change-seen-as-top-global-threat/> (Revisado el 04/08/2015)
- Pugliese, A. y Ray, J. (2011) Fewer Americans, Europeans View Global Warming as a Threat. Gallup. Protocolo de Kyoto (1997) <http://www.gallup.com/poll/147203/feweramericansviewglobalwarmingthreat.aspx?version=print> (Revisado el 05/09/2015)
- República Bolivariana de Venezuela/Ministerio del Poder Popular para el Ambiente (s.f.) Autoevaluación Nacional sobre las Necesidades de Fortalecimiento de Capacidad ANNFC. Autor. Recuperado de: <https://www.thegef.org/gef/sites/thegef.org/files/documents/document/nicsa-venezuela-fr-ap-SP.pdf>
- Rodríguez, R.J. y Rangel, C.E. (2010) Cambio climático, responsabilidad medioambiental. Rev. Unell. Cienc. Tec. 28: 69-77.
- Rodríguez, N. (2008) Trayectoria del proyecto de Escuelas Bolivarianas. Educere 12(42): 563-574 Recuperado de: <http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/26313/1/articulo16.pdf> (Revisado el 05/09/2015)
- Rodríguez, R. y J. López. (2013) Acerca de la creación de las Cátedras Libres Universitarias sobre Cambio Climático. (Resumen) Memorias del Primer Simposio Nacional Sobre Cambio Climático: Perspectivas para Venezuela. Academia de Ciencias Físicas Matemáticas y Naturales. Caracas.
- Valente, X. (2013) Venezuela: Una aproximación a la política educativa del Gobierno de Hugo Chávez (1999-2012) Org & Demo, Marília, 14(2): 73-102. Recuperado de: <http://www.bjis.unesp.br/ojs-2.4.5/index.php/orgdemo/article/view/3429/2704> (Revisado el 05/09/2015)
- VITALIS. (2015). Situación Ambiental de Venezuela 2015. Análisis de Percepción del Sector. Editores y Compiladores: D. Díaz Martín, Y. Frontado, M. Da Silva, A. Lizaraz, I. Lameda, V. Valera, C. Gómez., E. Monroy, Z. Martínez, J. Apostólico y G. Suárez. 42 pp. Disponible online en: www.vitalis.net
- UCAB (2011) Ante la colección Bicentenario. Elaborada por el MPPE. Recuperado de: <http://www.derechos.org.ve/2011/12/13/educacion-ucab-ante-la-coleccion-bicentenario-elaborada-por-el-mppe/> (Revisado el 04/09/2015)

PARTE III MITIGACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN VENEZUELA

GRUPO DE TRABAJO III (GTIII)

Coordinador

Rafael Lairer Centeno

Autores Líderes

Vilisa Morón, Rafael Rebolledo, Davna Rodríguez, Juan Carlos Sánchez

Revisor

María Figueroa

Palabras Clave: Mitigación, emisiones de GEI, inventario de GEI, energía renovables, deforestación, gestión de desechos sólidos.



Figura III. 1 Fotocomposición mostrando fuentes de emisión de GEI, estado Monagas, Venezuela.

Arriba: Luces de Maturín y Punta de Mata observadas desde Cerro Negro 2400m. Fotografía Francisco A. Betancourt. Fondo: NOAA *Satellite Reveals New Views of Earth at Night Composite map of the world assembled from data acquired by the Suomi NPP satellite in April and October 2012*. Fuente: NASA Earth Observatory/NOAA NGDC. Recuperado de: https://www.nasa.gov/mission_pages/NPP/news/earth-at-night.html

Acrónimos

ABRAE	Área Bajo Régimen de Administración Especial
ACFIMAN	Academia de Ciencias Físicas Matemáticas y Naturales
CCS	Captura y almacenamiento geológico de las emisiones de dióxido de carbono
COP21	Conferencia de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático 2015
CORPOELEC	Corporación Eléctrica Nacional
CRE	Certificados de Reducción de Emisiones
DSU	desechos sólidos urbanos
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
FAVENPA	Cámara de Fabricantes Venezolanos de Productos Automotores
GEI	Gases de Efecto Invernadero
Gg/año	Giga gramo por año
Gt	Giga tonelada
GWh	Giga vatios por hora
INDC	Intended Nationally Determined Contributions
INE	Instituto Nacional de Estadística
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
kg/día	Kilogramo por día
kg/hab/día	Kilogramos por habitante por día
km	kilómetro
kWh	kilovatio hora
MARN	Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales
MBD	Millones de barriles diarios
MBPD	Millones de barriles de petróleo diarios
MDL	Mecanismo de Desarrollo Limpio
MDS	Mecanismos de Desarrollo Sostenible
Mg	Mega gramos
Mha/año	Milones de hectáreas por año
mpg	Millas por galón
MPPA	Ministerio del Poder Popular para el Ambiente
MPPEE	Ministerio del Poder Popular para Energía Eléctrica
MPPM	Ministerio del Poder Popular Para el Petroleo y Minería
MW	un millón de vatios
Nm ³ /h	metros cúbicos normales por hora
PDVSA	Petróleos de Venezuela, Sociedad Anónima
PIB	Producto Interno Bruto
RSU	Residuos sólidos urbanos
TJ	Tera Joule 10 a la 12 o un billón de unidades.
US EIA	United States Energy Information Administration

III.1 Introducción

Hasta el momento de preparar el presente documento, sólo se contaba, para el país, con el Inventario Nacional de Emisiones de Gases Efecto Invernadero del año 1999. El mismo fue desarrollado con la participación de la Dirección General de Cuencas Hidrográficas del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales, y contó con los servicios de asesoría de las empresas Hidroimpacto, C.A., Consultores Técnicos Integrales 3007, C.A., y del Instituto Forestal Latinoamericano. Después del inventario de 1999, la información de emisiones gases de efecto invernadero (GEI) a nivel nacional, se ha limitado a estudios e investigaciones llevados a cabo por universidades, centros de investigación, y algunas dependencias de PDVSA, que contienen registros puntuales sobre nivel de emisiones en algunos sectores, como el sector de la construcción (Zapata, 2012) y agroforestal (Pacheco *et al.*, 2012). Adicionalmente, el Estado venezolano no ha implementado el Plan Nacional de Mitigación, aun cuando está incluido en el documento Contribuciones Previstas Determinadas a Nivel Nacional (INDC por sus siglas en inglés), presentadas por Venezuela a finales del 2015, durante la celebración de la COP21 en París, a partir de cuya implementación, el país estima una reducción en un 20% de emisiones de GEI para el 2030. En este particular, es necesario advertir que, en la INDC de Venezuela, no se hace referencia a la Estrategia Nacional de Cambio Climático. Ésta constituye la plataforma institucional idónea para alcanzar un desarrollo bajo en emisiones, como lo han hecho otros países en la región, como por ejemplo México, Colombia, Brasil, Chile y Perú. Entre las iniciativas gubernamentales conocidas, pero sin datos que permitan medir su pertinencia y eficiencia, el estado venezolano ha implementado acciones aisladas, como: el canal para Vehículos de Alta Ocupación o VAO en algunas ciudades del país; la construcción del sistema ferroviario nacional; el programa de bombillos ahorradores y la Misión Arbol; como medidas indirectas adoptadas para reducir el nivel de emisiones en el país. El presente capítulo se centra en la descripción de las opciones de mitigación de las emisiones de GEI asociadas a sectores del país que contribuyen con dichas emisiones, identificadas en la literatura disponible. Las opciones se presentan para los sectores de energía, transporte, construcción, agricultura, cambio en el uso de la tierra y gestión de desechos, referidos en la Primera Comunicación Nacional (2005), representando un insumo valioso para la identificación de vacíos de información que deberán ser completados a futuro como apoyo a la formulación de estrategias y políticas de estado en materia de mitigación de las emisiones GEI.

III.2 Oportunidades de mitigación por sectores

III.2.1 Industria petrolera

Las emisiones de CO₂ de la industria petrolera en general (Venezuela y el mundo), provienen principalmente de la combustión de hidrocarburos en los hornos, calderas, compresores, generadores y motobombas de las instalaciones industriales. Asimismo, la industria petrolera emite metano (CH₄),

cuando se arroja a la atmósfera parte del gas natural que se produce simultáneamente con el petróleo (venteo), y también por fugas de gas natural que ocurren en los compresores y gasoductos. No todo el gas que se desecha es arrojado a la atmósfera: aproximadamente 3.200 millones de m³/año se queman en mechurrios, que representan emisiones de CO₂ en el orden de 7,6 millones de t/año (PDVSA, 2015). El detalle de estas emisiones de CH₄ para Venezuela, se aborda más adelante en esta misma sección.

La distribución de las emisiones de CO₂, repartidas según las actividades de la industria petrolera nacional para el año 1999, se muestra en la [figura III.2](#). Se observa que la mayor parte de estas emisiones tenía lugar en las operaciones de producción de crudo y de refinación (MPPPM, 2014). Es necesario advertir que las emisiones de las cuatro plantas mejoradoras de crudos extra-pesados que fueron instaladas en el Complejo Industrial de Jose, PetroAnzoategui (antes Petrozuata) en el 2000, PetroMonagas (antes Cerro Negro) en el 2001, PetroPiar (antes Sincor) en el 2002 y Petropiar (antes Ameriven) en el 2004, no se contabilizaron en el Primer Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (MARN, 1999), porque entraron en operación después de la realización del inventario.

Si bien la producción petrolera se ha contraído cerca del 9% desde el 2011 al 2015 (PDVSA, 2015), ésta sigue siendo muy significativa en términos de consumo de hidrocarburos; adicionalmente, la actividad ha aumentado para compensar la declinación de la producción petrolera en campos tradicionales (PDVSA, 2015). Por otra parte, el elevado consumo de hidrógeno fabricado a partir de la reformación de gas natural asociado principalmente a plantas mejoradoras de crudos extra-pesados, según refiere la *US Energy Information Administration (US-EIA)* para Venezuela en el año 2015 (US-EIA, 2015), supone la adición de más emisiones CO₂. Asimismo, habría que contabilizar las emisiones adicionales de las nuevas instalaciones construidas en la Faja del Orinoco y en los campos tradicionales otorgados a socios de PDVSA para su operación. En el caso de la faja se han otorgado campos bajo la modalidad de concesiones a 13 países (Cuba, Sudáfrica, Malasia, España, Portugal, Rusia, India, Chile, Ecuador, Argentina, Irán, Brasil y China) (PDVSA, 2014), y se ha constituido un número similar de empresas. En cuanto a los procesos de refinación, aunque éstos operan a menor capacidad, también siguen representando una emisión importante de gases de invernadero, por cuanto la reducción que ha ocurrido de la manufactura de componentes de productos de hidrocarburos, debido a los accidentes y fallas operativas en varias instalaciones, se ha compensado con la importación de tales componentes (US-EAI, 2015). En efecto, el consumo de hidrocarburos líquidos por las actividades petroleras, se duplicó entre 2003 y 2012, como se observa en el [cuadro III.1](#).

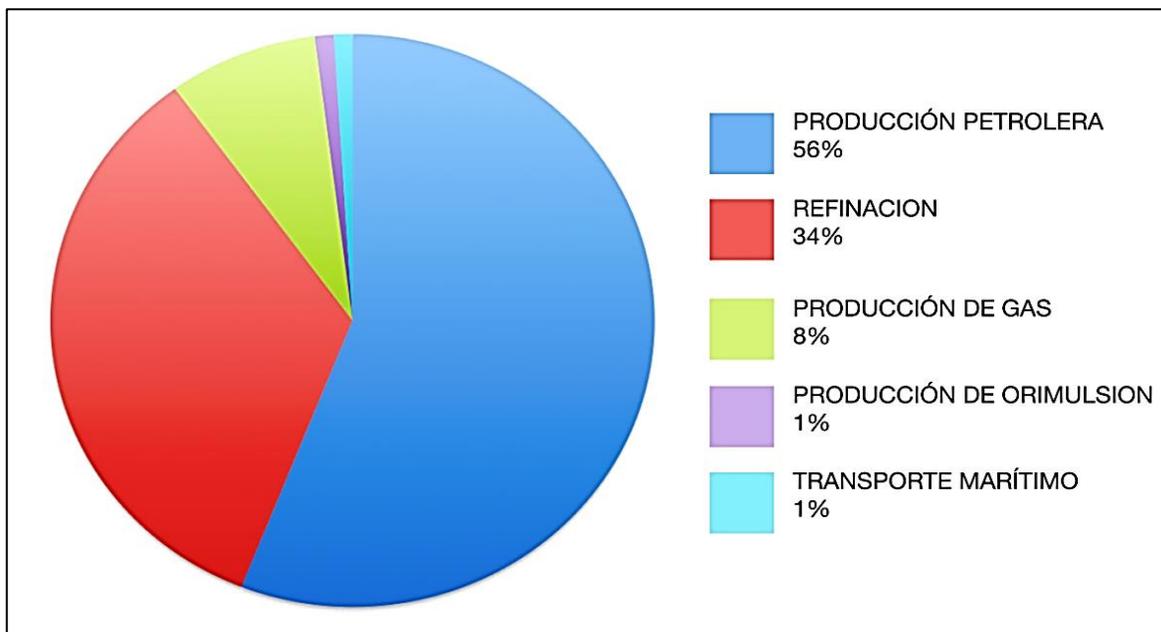


Figura III. 2 Distribución de las emisiones de CO₂ de la industria petrolera (1999). Fuente: Sánchez, 2004.

Cuadro III. 1 Consumo de hidrocarburos líquidos en el mercado interno.

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Sector Petrolero	44	81	67	76	70	74	73	76	83	80

Fuente: Ministerio del Poder Popular para Energía y Petróleo, 2014.

A escala global, incluyendo a Venezuela, las oportunidades de reducción de emisiones de CO₂ ocasionadas por el consumo de combustibles líquidos y gas natural, en las actividades de extracción y separación de petróleo, están en el mejoramiento de la eficiencia energética de equipos, tales como las calderas industriales, calentadores, compresores, motobombas y otros; en el cambio del tipo de combustibles utilizado; y en el desarrollo de proyectos de captura y almacenamiento geológico del CO₂. Las oportunidades de reducción de emisiones de CH₄ están en la prevención de fugas y venteos de gas natural.

III.2.1.a) Mejora de la eficiencia energética

Las operaciones petroleras en Venezuela son de larga data. El descubrimiento del potencial petrolero del país, y el inicio de la construcción de su infraestructura industrial, tuvo lugar en 1922, con la perforación del pozo Los Barrosos N° 2. Según el informe de gestión de PDVSA (2015), la industria petrolera nacional opera 17.626 pozos petroleros, 11 plantas de líquidos de gas natural LGN (extracción y fraccionamiento) y 20 estaciones principales recolectoras de crudo, que producen alrededor de 2,8 millones de barriles al día, producción de 5.296 MMPCD; asimismo mantiene 373 taladros en operación y procesa 1,3 millones de barriles al día en el país (PDVSA, 2015). En un complejo petrolero con tales características, es común que existan en operación equipos antiguos, energéticamente ineficientes. La

eliminación y/o reemplazo de estos equipos representan una buena oportunidad para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Ello requeriría la realización de una auditoría energética que permitiera identificar aquellos equipos que, estando próximos a completar su vida útil, pudieran reemplazarse por unidades más eficientes con el fin de reducir las emisiones.

La eficiencia se puede incrementar de dos maneras: mejorando la eficiencia de un equipo individual o de un grupo de equipos, o mediante la modificación de los procesos involucrados. Ciertas consideraciones deben abordarse para cuantificar la reducción de emisiones de GEI relativa a las mejoras de la eficiencia energética. A continuación se mencionan los aspectos a considerar:

- Variabilidad en las operaciones: debido a la naturaleza dinámica de la actividad de las operaciones de la industria petrolera, sus requerimientos de energía son también variables en el tiempo. Esto es especialmente cierto en los equipos de transferencia de calor (calentadores de proceso, hornos, etc.), donde la formación de depósitos o costras sobre la superficie de intercambio térmico (*fouling*), hace que se requiera más energía para producir el calor necesario, reduciendo su eficiencia. La reducción de emisiones se consigue, entonces, mediante un cuidadoso programa de limpieza periódica de los equipos, que permitirá aumentar la eficiencia, incluso si por razones técnicas no es recomendable una limpieza completa. Por ejemplo, la mejora de la eficiencia por la eliminación de depósitos en un intercambiador de calor, de 75% al 90%, puede reducir las emisiones anuales de CO₂ en 16%, por reducción del consumo de hidrocarburos líquidos (PDVSA, 2015). En el caso extremo de un intercambiador mal mantenido, que ha acumulado demasiados depósitos en la superficie de intercambio y se ha reducido su eficiencia al 40%, si su limpieza permite aumentar su eficiencia al 90% se reducirán las emisiones hasta en 50% (MPPM, 2014). En ciertos casos, debido a que la variabilidad de las operaciones hace que la línea base de emisiones también varíe, lo procedente es trabajar con una línea base de emisiones por unidad de energía producida en tales casos.
- Pérdida de eficiencia del equipo con el tiempo: esta pérdida de eficiencia se debe al deterioro del equipo debido a sus condiciones de uso por mucho tiempo, y se puede detectar al comparar la eficiencia, en buenas condiciones de mantenimiento, con la indicada por el fabricante del equipo. La manera de corregirla es mediante la sustitución del equipo por otro nuevo, al cumplirse su vida útil.
- Equipos eléctricos: cuando se trata de la mejora de la eficiencia de un equipo eléctrico, que ocasiona una reducción del consumo de electricidad, la reducción de emisiones no ocurre en el equipo, sino en la planta eléctrica que sirve a la instalación, independientemente de que ésta sea propiedad de la empresa petrolera o no.

Algunos de los beneficios simultáneos que se obtienen con la reducción de emisiones de GEI mediante mejora de la eficiencia energética están relacionados con diversas estrategias, como por ejemplo, reducción de costos por reducción del consumo de combustibles o de electricidad, contribución a la reducción de la emisión de contaminantes locales del aire (SO₂, partículas, etc.) y cumplimiento de normas de calidad del aire, y/o cumplimiento de metas ambientales internas de la empresa.

III.2.1.b) Cambio de combustible

Los diversos tipos de combustible emiten cantidades distintas de GEI cuando son utilizados. Generalmente, los combustibles sólidos generan más GEI que los líquidos, y éstos a su vez, más que los gaseosos. Por ello, la sustitución de un combustible, por otro que genera menos emisiones, es una buena oportunidad de mitigación. En el [cuadro III.2](#) se muestra el factor de emisión de GEI por Tera-joule de energía producida para los distintos combustibles a escala global (IPCC, 2006). Por ejemplo, la sustitución del uso de diesel por gas natural, reduce la emisión de CO₂ en 25%, obteniéndose la misma cantidad de energía calórica. Otras consideraciones a tener en cuenta, son que el cambio de combustible requiere del cambio o ajuste del quemador de combustible del equipo, cambio del sistema de alimentación del combustible y/o ajustes en el sistema de suministro de aire de combustión. Asimismo, la sustitución de combustibles puede dar como resultado un cambio en la eficiencia del sistema, y potencialmente, un cambio total de la capacidad del sistema de combustión. En no pocos casos, también puede aportar el beneficio del aumento de la vida útil del equipo.

III.2.1.c) Prevención de fugas y eliminación de venteos de gas natural

El gas natural contiene entre 80 y 97% de metano, por tanto sus fugas y venteos a la atmósfera, en actividades de la industria de los hidrocarburos, representan una fuente importante de emisión de GEI. En Venezuela, la distribución de las actividades petroleras que emiten gas natural, se muestra en los cuadros 2a y 2b, donde se puede apreciar que, prácticamente, la totalidad de las emisiones se producen en los campos de producción petrolera, debido a la práctica de arrojar el gas a la atmósfera y por las fugas que se producen en los compresores, tanques de almacenamiento de crudo y otros equipos (IPCC, 2006).

En el [cuadro III.3](#) se indica que el 76,01% de las emisiones de metano de la industria petrolera, para el año 2000, se producía por los venteos de gas (Anselmi *et al.*, 2000). Para el año 2000, la producción se situaba en los 1.497 MBPD en comparación con los 2.863 MBPD de los cuales la Faja aportaba 1.442 MBPD para el 2015 (PDVSA, 2015). Ello ocurre porque la mayor parte de las grandes reservas de gas de Venezuela están asociadas a los yacimientos petroleros y, en consecuencia, su producción está ligada a la producción de crudo (PDVSA, 2015). En el país, gran parte del gas se extrae junto con el petróleo, ya que éste está conformado por una mezcla de crudo, agua y gas. La mezcla es

llevada por tubería hasta las estaciones de flujo, donde se realizan las operaciones de separación y distribución del gas, una buena parte del gas producido se reinyecta en el yacimiento para mantener su presión y para conservar el gas; otra se destina al consumo; y el gas pobre o de baja presión, se arroja a la atmósfera en las estaciones donde no se dispone de capacidad de compresión, recolección y transporte del gas. La recolección del gas asociado a la producción de petróleo es una buena oportunidad para la reducción de las emisiones de metano, bien sea dotando a las estaciones de la infraestructura requerida para manejar el gas o, cuando ello no resulte económicamente factible, instalar un quemador o mechurrio y quemar el gas antes de arrojarlo a la atmósfera, porque de esta manera el metano es convertido en CO₂, que es un gas de menor poder radiativo.

También se aprecia en el [cuadro III.4](#) que las emisiones de gas en los pozos del occidente del país representaban para el año 2000 el 21,2% de las emisiones de metano de la industria petrolera (Anselmi *et al.*, 2000). Ello ocurre en los yacimientos que, por haber estado en explotación durante varias décadas, su presión se ha reducido considerablemente, y para poder extraer el crudo, se hace necesario estimular el yacimiento mediante la inyección de vapor de agua; para obtener condiciones óptimas de extracción, los pozos deben operar con la tubería de revestimiento abierta (*open casing*) produciéndose fugas de gas. Para recoger este gas, se hace necesaria la instalación de una infraestructura compleja y costosa, considerando que el poder calorífico de este gas apenas oscila entre 700 y 900 BTU/pié³ y su presión debe aumentarse de 2 a 65 psig. Esta situación tiene lugar en los yacimientos de la costa oriental del Lago de Maracaibo (Costa Bolívar), pero es posible que en décadas futuras, a medida que se agote la presión en otros yacimientos, se repita esta situación en otras localidades.

Cuadro III. 2 Factores de emisión de GEI para los combustibles.

Factores de emisión por defecto para la combustión estacionaria en la INDUSTRIA ENERGÉTICAS (kg de gas invernadero por TJ sobre una base calórica neta).

Combustible	Factor de emisión por defecto	CO ₂		Factor de emisión por defecto	CH ₄		Factor de emisión por defecto	N ₂ O		
		Inferior	Superior		Inferior	Superior		Inferior	Superior	
Petróleo crudo	73 300	71 000	75 500	r 3	1	10	0,6	0,2	2	
Orimulsión	r 77 000	69 300	85 400	r 3	1	10	0,6	0,2	2	
Gas natural licuado	r 64 200	58 300	70 400	r 3	1	10	0,6	0,2	2	
Gasolina	Gasolina para motores	r 69 300	67 500	73 000	r 3	1	10	0,6	0,2	2
	Gasolina para la aviación	r 70 000	67 500	73 000	r 3	1	10	0,6	0,2	2
	Gasolina para la a reacción	r 70 000	67 500	73 000	r 3	1	10	0,6	0,2	2
Queroseno para motor a reacción	r 71 500	69 700	74 400	r 3	1	10	0,6	0,2	2	
Otro queroseno	71 900	70 800	73 700	r 3	1	10	0,6	0,2	2	
Esquisto bituminoso	73 300	67 800	79 200	r 3	1	10	0,6	0,2	2	
Gas/Diesel Oil	74 100	72 600	74 800	r 3	1	10	0,6	0,2	2	
Fuelóleo residual	77 400	75 500	78 800	r 3	1	10	0,6	0,2	2	
Gases licuados de petróleo	63 100	61 600	65 600	r 1	0,3	3	0,1	0,03	0,3	
Etano	61 600	61 600	65 600	r 1	0,3	3	0,1	0,03	0,3	
Nafta	73 300	69 300	76 300	r 3	1	10	0,6	0,2	2	
Bitumen	80 700	73 000	89 900	r 3	1	10	0,6	0,2	2	
Lubricantes	73 300	71 900	72 200	r 3	1	10	0,6	0,2	2	
Coque de petróleo	r 97 500	82 900	115 000	r 3	1	10	0,6	0,2	2	
Otro petróleo	Gas de refinería	n 57 600	48 200	69 000	r 1	0,3	3	0,1	0,03	0,3
	Ceras de parafina	73 300	72 200	74 400	r 3	1	10	0,6	0,2	2
	Espiritu blanco y SBP	73 300	72 200	74 400	r 3	1	10	0,6	0,2	2
	Otros productos del petróleo	73 300	72 200	74 400	r 3	1	10	0,6	0,2	2
Antracita	98 300	94 600	101 000	1	0,3	3	r 1,5	0,5	5	
Carbón de doque	94 600	87 300	101 000	1	0,3	3	r 1,5	0,5	5	
Otro carbón bituminoso	94 600	89 500	99 700	1	0,3	3	r 1,5	0,5	5	
Carbón sub-bituminoso	96 100	92 800	100 000	1	0,3	3	r 1,5	0,5	5	
Lignito	101 000	90 900	115 000	1	0,3	3	r 1,5	0,5	5	
Esquisto bituminoso y alquitrán	107 000	90 200	125 000	1	0,3	3	r 1,5	0,5	5	
Briquetas de carbón de lignito	97 500	87 300	109 000	n 1	0,3	3	r 1,5	0,5	5	
Combustible evidente	97 500	87 300	109 000	1	0,3	3	n 1,5	0,5	5	
Coque	Coque para horno de coque y coque de lignito	r 107 000	95 700	119 400	1	0,3	3	n 1,5	0,5	5
	Coque de gas	r 107 000	95 700	119 400	r 1	1	3	0,1	0,03	0,3

Cuadro III.2 (continuación)

Combustible	Factor de emisión por defecto	CO ₂		Factor de emisión por defecto	CH ₄		Factor de emisión por defecto	N ₂ O		
		Inferior	Superior		Inferior	Superior		Inferior	Superior	
Alquitrán de hulla	n 80 700	68 200	95 300	n 1	0,3	3	r 1,5	0,5	5	
Gases derivados	Gas de fábricas de gas	n 44 400	37 300	54 100	n 1	0,3	3	0,1	0,03	0,3
	Gas de horno de coque	n 44 400	37 300	54 100	r 1	0,3	3	0,1	0,03	0,3
	Gas de alto horno a reacción	n 260 000	219 000	308 000	r 1	0,3	3	0,1	0,03	0,3
	Gas de horno de oxígeno para aceros	n 182 000	145 000	202 000	r 1	0,3	3	0,1	0,03	0,3
	Gas natural	56 100	54 300	58 300	1	0,3	3	0,1	0,03	0,3
Desechos municipales (fracción no perteneciente a la biomasa)	n 91 700	73 300	121 000	30	10	100	4	1,5	15	
Desechos industriales	n 143 000	110 000	183 000	30	10	100	4	1,5	15	
Óleos de desecho	n 73 300	72 200	74 400	30	10	100	4	1,5	15	
Turba	106 000	100 000	108 000	n 1	0,3	3	n 1,5	0,5	5	
Biocombustibles sólidos	Madera/ Desechos de madera	n 112 000	95 000	132 000	30	10	100	4	1,5	15
	Lejía de sulfito (licor negro) ^a	n 95 300	80 700	110 000	n 3	1	18	n 2	1	21
	Otra biomasa sólida primaria	n 100 000	84 700	117 000	30	10	100	4	1,5	15
Biocombustibles líquidos	Cabón vegetal	n 112 000	95 000	132 000	200	70	600	4	1,5	15
	Biogasolina	n 70 800	59 800	84 300	r 3	1	10	0,6	0,2	2
	Biodiésel	n 70 800	59 800	84 300	r 3	1	10	0,6	0,2	2
	Otros biocombustibles líquidos	n 79 600	67 100	95 300	r 3	1	10	0,6	0,2	2
Biomasa gaseosa	Gas de vertedero	n 54 600	46 200	66 000	r 1	0,3	3	0,1	0,03	0,3
	Gas de digestión de lodos locales	n 54 600	46 200	66 000	r 1	0,3	3	0,1	0,03	0,3
	Otro biogás	n 54 600	46 200	66 000	r 1	0,3	3	0,1	0,03	0,3
Otros combustibles no fósiles	Desechos municipales (fracción no perteneciente a la biomasa)	n 100 000	84 700	117 000	30	10	100	4	1,5	15

^a Incluye el CO₂ derivado de la biomasa emitido desde la unidad de combustión de licor negro y el CO₂ derivado de la biomasa emitido desde el horno de cal de la planta de kraft.

n Indica un factor de emisión nuevo que no estaba presente en las *Directrices de IPCC de 1996*

r Indica un factor de emisión que se revisó a partir de las *Directrices de IPCC de 1996*

Fuente: IPCC, 2006.

Cuadro III. 3 Distribución de las emisiones de CH₄ debido al venteo de gas natural de la industria petrolera según actividades.

	Mt/año	%
Venteos de gas por chimenea	1.388	76,01
Venteos en pozos de occidente	383	20,97
Mechurrios o quemadores de gas	25	1,37
Compresores a gas	12	0,66
Fugas en estaciones de flujo	7	0,38
Tanques de crudo con techo fijo	5	0,27
Extracción de carbón	4	0,22
Carga de buques tanqueros	2	0,11
Total:	1.826	100

Fuente: Anselmi *et al.*, 2000.

Cuadro III. 4 Distribución de las emisiones de CH₄ de la industria petrolera según sus fuentes.

	Mt/año	%
Venteos de gas por chimenea	1.368	75,7
Venteos en pozos de Occidente	383	21,2
Mechurrios o quemadores de gas	25	1,4
Compresores a gas	12	0,7
Fugas en estaciones de flujo	7	0,4
Tanques de crudo con techo fijo	5	0,3
Extracción de carbón	4	0,2
Carga de buques tanqueros	2	0,1
Total:	1.806	100

Fuente: Anselmi *et al.*, 2000.

El quemado del gas en mechurrios contribuye con el 1,4% de las emisiones de metano a la atmósfera en Venezuela, ello ocurre porque a pesar de que los quemadores se diseñan para operar con una eficiencia de combustión del gas de 98%, en la práctica la eficiencia de la combustión oscila entre 70% y 85%. A pesar de ello, el quemado del gas es la forma más sencilla de disponer el gas asociado a la producción de crudo, mitigando las emisiones de metano.

Las emisiones de metano en los compresores, pueden provenir de pérdidas en los sellos, en las válvulas y durante el arranque y las paradas de los mismos. Las pérdidas por los sellos están definidas por el fabricante y ocurren en una cantidad aproximada de 1 a 2.5 mega-gramos (Mg) de CH₄ por año y por compresor para sellos de gas, y de 5 a 10 Mg por año y por compresor para sellos de aceite. Los compresores viejos usan sellos de aceite, los cuales pueden emitir de 5 a 10 veces más metano que los sellos de gas. Por otra parte, es posible encontrar que las válvulas que utilizan estos compresores sean de tecnología obsoleta y con altas tasas de fuga. El control de estas emisiones, en el caso del país, se

puede lograr a través del reemplazo (cuando la economía en las operaciones y las condiciones de los compresores así lo requieran) de estos compresores, sus sellos y sus válvulas por tecnologías modernas. Con ello se puede lograr disminuir las fugas hasta en un 90%

Durante los períodos de paradas y arranques por mantenimiento o modificaciones en instalaciones mayores, refinerías, mejoradores de crudo o en plantas compresoras de gas, como ejemplo, pueden ocurrir emisiones, producto de los desplazamientos de aire y gas. Así mismo en el caso de sustitución de un equipo menor, como compresores, bombas o tuberías bien sea por mantenimiento o por reparación de fallas, pueden ocurrir fugas o escapes de gas, que normalmente son atendidas.

En Venezuela, los compresores frecuentemente utilizados son del tipo recíprocante y centrífugos que pueden arrancar con una turbina de gas o con un arranque eléctrico. Para el caso de los recíprocantes, los sellos utilizados son sellos mecánicos. Básicamente estos motores poseen válvulas de retroceso, por las cuales se puede esperar que haya más emisiones de metano que por los mismos sellos mecánicos. Mientras que los motores centrífugos, aparte de tener sellos mecánicos inter-etapa, poseen sellos de aceite en uno de los extremos del eje. Para el caso del oriente del país, predominan los compresores centrífugos, y en algunos casos compresores de turbina con sellos de aceite (PDVSA, 2015).

III.3 Industria eléctrica

Las emisiones de CO₂ de las plantas térmicas de generación de electricidad y calor, provienen de la combustión del gas natural, gasoil y fuel oil. Las oportunidades de reducción de emisiones en estas instalaciones, derivan del cambio de combustible o sustitución del gasoil y fueloil por gas, de la incorporación de tecnologías que permitan un aprovechamiento más eficiente de la energía, o de la sustitución de la generación termoeléctrica por el aprovechamiento de las fuentes energéticas renovables. Para Venezuela, CORPOELEC reporta entre 2013 y 2015, (MPPEE, 2015) la conversión a gas de 1390 MW, en las plantas India Urquí (Santa Lucía estado Miranda), Termocarabobo (estado Carabobo), Juan Bautista Arismendi y Luisa Cáceres de Arismendi (ambas en el estado Nueva Esparta).

III.3.1 Cambio de combustible

Conforme al Anuario Estadístico del Sector Eléctrico Nacional de 2013 (MPPEE, 2013), la demanda máxima de potencia en 2012 fue 18.357 MW, y la distribución de la capacidad de generación instalada nacional fue de 14.622 MW hidroeléctrico (52,74%) y 13.022 MW termoeléctrico (47,26%). Ello refleja la preferencia otorgada al desarrollo de proyectos termoeléctricos sobre los hidroeléctricos en los últimos 15 años, por cuanto la distribución de la generación en 1998 era 71,64% hidroeléctrica y 28,36% termoeléctrica (MPPEE, 2015).

Esta preferencia ha incrementado significativamente la emisión de gases de efecto invernadero del sector, particularmente por el aumento del consumo de hidrocarburos líquidos para la generación. En efecto, las emisiones anuales de GEI expresadas en CO₂ equivalente, aumentaron de 14,38 millones de toneladas en 1999, hasta 28,82 millones de toneladas en 2012 (MPPEE, 2013). La capacidad de generación adicional que se ha estado incorporando al sector, ha estado conformada principalmente por unidades de generación termoeléctrica basadas en la tecnología de turbogeneradores (MPPEE, 2013). Dicha tecnología es capaz de utilizar sistemas duales de combustibles, con los que se puede utilizar casi indistintamente gas o diesel (gas-oil) como fuentes de energía primaria. Este desarrollo tuvo en consideración las grandes reservas de gas natural de las que dispone el país, siendo el gas un combustible que, además de emitir un 25% menos de CO₂ por energía producida con respecto al gasoil, presenta ventajas técnicas y económicas para ser utilizado como complemento de la producción de energía hidroeléctrica en el país. Comparativamente, el gasoil es un combustible con un alto valor de exportación, debido a su condición de derivado del petróleo, a su proceso de producción y a su demanda internacional para el sector transporte, por lo que representa un insumo muy costoso para la generación nacional de energía eléctrica, que solo debe ser utilizado en condiciones de emergencia durante períodos de tiempo limitados. Sin embargo, lo que se ha observado es que los proyectos petroleros previstos para la producción de gas natural en el país y su transporte hacia los diferentes centros de consumo termoeléctrico, han experimentado retrasos considerables que han impedido la total satisfacción de la demanda actual de este energético. Por tal razón ha sido necesario incrementar el consumo de gasoil para la generación de electricidad, con lo cual se redujo su disponibilidad para la exportación, e incluso el país se ha visto obligado a importar gasoil, debido a fallas recurrentes y accidentes en la operación de la refinería de Amuay en Paraguaná, donde se produce el gasoil.

El déficit de gas ha sido en parte atenuado con la importación entre 2007 y julio 2015 (año en el cual se canceló la importación de gas), de 150 millones de *pié*³/día de gas, desde Colombia, para suplir a la Refinería de Amuay y a las centrales termoeléctricas Termozulia y Urdaneta, ambas en el estado Zulia en el occidente del país (Caro, 2007). Esta importación se terminará cuando comience la explotación de gas del proyecto Perla del Bloque Cardón IV de Falcón, que se estima producirá, en los primeros años, 300 millones de *pié*³/día de gas, y posteriormente cuadruplicará la producción, hasta alcanzar 1.200 millones de *pié*³/día (Repsol, 2015). Se esperaba que, a partir de 2015, ya no sería necesario continuar con la importación de gas desde Colombia, y que se iría progresivamente compensando el déficit nacional. Cabe esperar que así se normalice la situación, y las plantas termoeléctricas incorporadas consuman gas en lugar de gasoil. Esta sería la oportunidad más probable de mitigación de emisiones de GEI que cabe esperar en los próximos años en el sector energético nacional.

Cabe mencionar que, a raíz de la crisis de generación y distribución eléctrica que comenzó en el país en la década 2000-2010, una de las estrategias adoptadas para solventar parcialmente la crisis fue la gestión de la demanda eléctrica mediante la sustitución masiva gratuita de bombillos incandescentes por bombillos fluorescentes, llamados “ahorradores”, en domicilios e instituciones públicas y privadas. El Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica estima que esta sustitución permitió la reducción de 3,49 millones de toneladas de CO₂ equivalente, entre 2007 y 2012, es decir un promedio de 0,58 millones de toneladas al año de CO₂ equivalente (MPPEE, 2013).

III.3.2 Energías renovables

Venezuela posee un importante potencial de fuentes renovables que ha sido muy poco desarrollado. Conforme a un trabajo del Ministerio del Poder Popular de Energía y Petróleo de 2009 (Durán, 2009), este potencial, considerando los recursos eólicos, la hidro-energía aún no explotada, la biomasa y la geotérmica, ascendía para ese año a 107.526 MW (Cuadro III. 5), lo cual equivale a casi seis veces el consumo actual (Durán, 2009). Ello, sin considerar el potencial fotovoltaico, el cual se estima en 5 kWh/m²/día.

Cuadro III. 5 Potencial de energías renovables en Venezuela.

FUENTE RENOVABLE	POTENCIAL (MW)
Energía Eólica (en tierra y aguas)	45.195
Hidro no explotada (incluye mini-hidro)	37.600
Biomasa de residuos agrícolas	24.581
Geotérmico (Edo. Sucre)	150

Fuente: Duran, 2009.

La política nacional existente en cuanto a las energías solar y eólica, consiste en desarrollarlas sólo para suplir áreas remotas y zonas donde no llega la red nacional de distribución eléctrica, por lo que las inversiones para aprovechar estas fuentes renovables seguirán siendo muy modestas. Al respecto se registra poco avance, reflejado principalmente en dos iniciativas de construir parques eólicos pequeños: uno en Paraguaná, de 74 aerogeneradores para una capacidad de 100 MW del cual sólo se construyeron 24 máquinas que totalizarían 31,5 MW; el otro parque eólico es el de La Guajira, Zulia, que tenía prevista una capacidad de 74,6 MW, pero sólo se instalaron 25,2 MW (Durán, 2009). Ninguno de estos dos sistemas se encuentra en operación desde mediados de la década de 2010. Según Méndez (2017), en el año 2013, se instaló un sistema fotovoltaico en Los Roques de 1 MW, el cual opera de manera intermitente. En cuanto a sistemas pequeños, principalmente del tipo solar-térmico y celdas solares, instalados en viviendas, escuelas, ambulatorios, casas comunales, comedores y puestos militares, el Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica afirma haber instalado un total de 3.273 sistemas entre 2005 y 2012.

Rebolledo (2013), realizó un estudio de evaluación de las fuentes de energía solar y energía eólica en Venezuela para el siglo XXI, que señala que ambas formas de energía se verán favorecidas por los efectos del cambio climático durante los próximos 80 años. Para la energía eólica, el autor plantea potenciales de crecimiento sostenido entre los 104 w/m² por año y los 165 w/m² por año. Las regiones del país más favorables para el aprovechamiento eólico, en términos de abundancia y constancia identificadas por Rebolledo, son la región norte de Falcón y el Golfo de Venezuela, que tradicionalmente se han estado explotando desde finales del siglo XX, además de una nueva región (aun no estudiada) con muy buenas cualidades al sur de los estados Monagas y Anzoátegui (Rebolledo, 2013). Esta nueva región genera buenas expectativas con relación a su potencial eólico, si se considera el plan de desarrollo socio-productivo conocido como Proyecto Socialista Orinoco (PSO), que actualmente desarrolla Petróleos de Venezuela, S.A en la Faja Petrolífera del Orinoco.

Conforme al estudio de Rebolledo (2013), el potencial energético solar será mucho mayor que el eólico; sin embargo, durante el siglo XXI se verá afectado por la aceleración de su dinámica espacio-temporal, por lo que los patrones de localización del potencial solar no serán permanentes. La condición más próxima al planteamiento del escenario ideal, proyecta un crecimiento sostenido del potencial energético solar a un ritmo de 4.475 w/m² por año, desde mediados del siglo XX hasta el año 2050, siendo el oriente del estado Falcón la región con mayor potencial. Se estima que, a partir de ese momento, se producirá una inflexión que desacelerará significativamente el crecimiento del potencial energético, bajando a una tasa de 1.750 w/m² al menos hasta finales de siglo. Para ese entonces las regiones con mayor potencial serán los estados Guárico y Monagas.

III.4 Sector energético. Consumo

III.4.1 Transporte

El sector transporte es la segunda fuente más importante de emisión de gases de efecto invernadero a escala nacional, y la primera en importancia en la ciudad de Caracas (Sánchez, 2013). Representa una emisión que crece anualmente, debido al incremento en las ventas y el uso de los vehículos, en ausencia de una política pública de control de estas emisiones. Uno de los factores que más contribuye a las emisiones del sector, es la antigüedad del parque automotor; se estima que de los 1,3 millones de vehículos que posee el parque urbano, cerca del 50% tiene más de 10 años (Favenpa, 2012); asimismo la eficiencia energética del parque es baja. La información disponible refleja una eficiencia promedio de 3,7 Km/l (7.06 mpg) lo cual refleja el significativo problema de alto uso de energía en el sector, que se traduce en elevados niveles de emisión de gases de efecto invernadero y contaminantes en la ciudad (Cabral, 2008). Las emisiones totales del parque de la ciudad de Caracas para 2012, se estimaron en 13,656 millones de toneladas de CO₂ al año (13.656 Gg/año) (Sánchez, 2013).

Tres tipos de medidas podrían adoptarse para mejorar las condiciones del tránsito y reducir las emisiones de GEI del sector transporte en la ciudad de Caracas (Cabral, 2008). Por ejemplo, medidas para mejorar la movilidad, desincentivos al uso del vehículo personal y la creación de incentivos para mejorar la eficiencia de los vehículos del parque automotor. Las medidas que permitirían mejorar la movilidad en la ciudad incluyen: las restricciones a la circulación de vehículos durante uno a más días a la semana, tales como el día de parada según el número de la placa del vehículo, o la restricción en los horarios de mayor afluencia como el “Pico y placa”; asimismo, el establecimiento de más canales de contraflujo; los horarios escalonados de funcionamiento de oficinas, escuelas y servicios; la mejora del transporte público, que permita ofrecer a los usuarios un transporte seguro, puntual y cómodo y que además se establezca un sistema integrado entre red vial, los sistemas de transporte superficiales y subterráneo y la red peatonal; la revisión de las tarifas de estacionamientos; y la restricción de la circulación de vehículos pesados solamente en horas nocturnas en la ciudad de Caracas. Los desincentivos al uso del vehículo personal incluyen: el establecimiento de más calles peatonales; restricciones al estacionamiento de vehículos en vías principales; creación de más rutas y estacionamientos para bicicletas y la revisión de las tarifas de los estacionamientos. Finalmente, los incentivos para mejorar la eficiencia de los vehículos del parque automotor serían: la adopción de un programa de inspección y mantenimiento anual obligatorio de vehículos; un programa de compra y sustitución de vehículos chatarra; y la creación de un incentivo fiscal para la compra de vehículos eficientes (Sánchez, 2013).

Se ha estimado que la sustitución de un vehículo liviano obsoleto e ineficiente por otro eficiente, representa un ahorro anual, en combustible por vehículo, en el orden de US\$ 3.000, y una reducción de emisiones de 3 toneladas de CO₂ por vehículo; mientras que la sustitución de microbuses obsoletos ahorraría anualmente por vehículo en combustible US\$ 56.000, y habría una reducción de emisiones de 102 toneladas de CO₂ por vehículo (Sánchez, 2013).

III.4.2 Construcción

Según el IPCC (2014), a nivel mundial los edificios residenciales, comerciales y de oficinas emitieron a la atmósfera, en 2010, un total de 9,18 Gt de CO₂eq, lo cual representa el 32% de las emisiones globales de gases de invernadero vinculadas a la energía, más del doble de lo emitido desde 1970. Ello se debe a que, en los edificios, se consume una fracción importante del total de energía debido al acondicionamiento de aire, calefacción, iluminación, calentamiento de agua, cocción y refrigeración de alimentos, entre otras actividades. A nivel mundial, se dispone de un conjunto de técnicas y tecnologías que permiten reducir las emisiones de gases de los edificios, estimándose que, para los edificios nuevos, esta reducción puede alcanzar 60% o más, con respecto a los edificios desprovistos de tales tecnologías.

III

En la concepción de un edificio de bajo consumo energético, lo primero que se toma en cuenta es su orientación con respecto al sol y la forma del edificio; usualmente se utilizan parasoles externos que aportan un buen grado de aislamiento térmico. En las grandes ciudades de Venezuela, es posible observarlos, tanto en edificios emblemáticos, como el del Banco Central de Venezuela en Caracas, como en edificios residenciales. El enfriamiento y la ventilación pasiva son otros elementos a los cuales se ha recurrido con cierta frecuencia en las ciudades venezolanas, así como el aprovechamiento de la iluminación natural, para reducir el consumo energético. Otra técnica bastante utilizada para refrescar las fachadas y techos de casas y edificios, consiste en el uso de pinturas y/o materiales reflectantes, que aumentan la reflexión hacia el exterior, de la radiación solar que incide sobre el edificio. Ello es muy utilizado, particularmente en ciudades y poblados costeros (Zapata, 2012). Sin embargo, en las grandes ciudades venezolanas, otras edificaciones, tales como los edificios de cristales oscuros, totalmente cerrados, están también presentes, representando una concepción de la arquitectura enteramente volcada hacia lo estético, sin ninguna consideración del consumo energético, siendo estas edificaciones consumidoras de energía, o que requieren de un alto suministro de aire acondicionado; como ejemplos: el Cubo Negro en la urbanización Chuao, el Cubo de Cristal en los Palos Grandes, ambos en la ciudad de Caracas (Zapata, 2012).

Un incremento aun mayor de la eficiencia energética de los edificios, es posible con la instalación de dispositivos de aprovechamiento de las fuentes renovables: fundamentalmente de la energía solar térmica y de energía fotovoltaica. Sin embargo, estos dispositivos enfrentan barreras que impiden su uso. Por una parte, tienen un costo de inversión elevado, que no puede amortizarse sino a muy largo plazo debido al subsidio existente en las tarifas eléctricas, y por otro, no existen políticas públicas que promuevan y favorezcan el aprovechamiento de las fuentes renovables de energía en Venezuela. En la práctica, aun cuando existe un potencial importante de reducción de emisiones en el sector de la construcción, la persistencia del subsidio a la electricidad impedirá que las fuentes de energía renovable sean competitivas en el mercado nacional.

Otro aspecto a considerar, es que la gran mayoría de los edificios que se estarán utilizando en 2050 en nuestras ciudades, ya han sido construidos. En términos generales, en Venezuela, la tasa de edificios demolidos al año es muy baja, un 1%, lo cual hace que cualquier eventual política pública que se quiera adoptar para reducir las emisiones de los edificios, habrá de considerar la reconstrucción o refaccionamiento de edificios existentes, incorporando técnicas pasivas de enfriamiento, siempre que ello sea posible (Zapata, 2012). Asimismo, tanto en edificios nuevos como en los reconstruidos, existe un importante potencial para lograr ganancias de eficiencia energética y reducción de emisiones recurriendo a nuevos materiales y técnicas. Por ejemplo, a nivel del país es muy poco el uso que se hace actualmente, de techos en material sintético altamente reflectante y aislante, techos y muros

verdes o la dotación de sistemas que faciliten el ahorro de agua y de electricidad en los edificios. En cuanto al reciclaje de los escombros de demolición, sí existen en el país algunas empresas constructoras que aprovechan los materiales usados (Zapata, 2012).

Zapata (2012) señala que, en el sector construcción de Venezuela, específicamente en cuanto a consumos de energía y emisiones asociadas, se detectaron dos materiales requeridos para la construcción: el cemento y el acero, que representan el 70% en peso del material requerido para una vivienda tipo en el país. El cemento se sitúa con un 12%, equivalente a 266 kg/m²; el acero representa un 2%, lo cual indica que cada metro cuadrado demanda 53 kg, constituido por barras para refuerzo del hormigón básicamente. La cifra parece baja, pero la necesidad por vivienda alcanza 5,7 toneladas.

En lo que respecta a emisiones, se estima que sólo por el volumen de acero se generarían 10,38 t de CO₂. Por ejemplo, en el año 2010, la construcción de viviendas involucró 496,7 GWh, de los cuales 252,4 GWh corresponden al uso de cemento y 244,3 GWh al acero. Las emisiones alcanzaron 1,07 millones de t de CO₂, lo que representa menos del 1% del total del país.

III.5 Sector forestal: aumento de los sumideros naturales de CO₂

De acuerdo con el programa de evaluación de los recursos forestales de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la deforestación es “la conversión del bosque a otros usos de la tierra, provocada por el hombre, o la reducción permanente de la cubierta del dosel, por debajo del umbral mínimo del 10%”. La FAO (2010) categoriza a Venezuela como el décimo país con mayor tasa de deforestación a nivel mundial (-0.6 Mha/año). Sin embargo, de acuerdo a diferencias en las estimaciones de la deforestación, la tasa oficial de deforestación reportada por Venezuela es de -0.33 Mha/año para el período 2000-2010 y -0.31 Mha/año para 2010-2015, ya que sólo se tomó en cuenta la pérdida de superficie boscosa (definida como tierras que se extienden por más de 0,5 hectáreas dotadas de árboles de una altura superior a 5 m y una cubierta de dosel superior al 10 %, incluyendo zonas forestales) entre los años de los mapas utilizados como insumos (Fajardo *et al.*, 2005). A fin de evaluar el estado actual del conocimiento sobre el proceso de deforestación en Venezuela, se realizó una búsqueda sistemática de literatura relacionada al tema, a partir del año 2000, que se concentró en el nuevo período constitucional que condujo a modificaciones legales y logísticas en materia forestal y ambiental.

En los estudios de escala nacional, se observa que la estimación de la superficie boscosa varía entre el 48-53% del territorio venezolano (Cuadro III. 6). Estas diferencias en las estimaciones no escapan de la realidad mundial, ya que debido a las diferentes definiciones de bosque utilizadas y los métodos disponibles para los análisis, no existe un consenso en la estimación de la superficie boscosa

(Sexton, 2015). El patrón observado en estos estudios, es el de una disminución sostenida en la pérdida de bosques del país, siendo los bosques ubicados al norte del Orinoco los más afectados por las transformaciones en el uso de la tierra (Hernández & Pozzobon, 2002; Rodríguez *et al.*, 2010; Angulo *et al.* 2011; Madi *et al.*, 2011; Lozada, 2012; Molina *et al.*, 2013; Pacheco, 2011). De acuerdo al estudio de Pacheco (2011), las causas de los cambios de cobertura en Venezuela, en orden de mayor a menor impacto, son: la actividad agropecuaria, extensión de infraestructura, extracción de madera, minería y los incendios forestales. Uno de los bosques con mejor estimación en su pérdida de cobertura a lo largo del territorio, son los bosques secos. Estos bosques potencialmente ocuparon un 44% de la superficie nacional y ahora sólo ocupan un 10% del territorio (Portillo-Quintero *et al.*, 2012).

Pacheco *et al.* (2011), estimaron la mayor tasa de deforestación (-0.93%) en el país para el período 1982 y 1995, mientras que para períodos más recientes (2005-2010), estimaron una tasa de deforestación de -0.72%, superior a la tasa promedio oficial reportada para la FAO para ese período. Por su parte, Madi *et al.* (2011), estimaron áreas sin intervención aparente al sur del Orinoco (48% del territorio nacional), y zonas totalmente intervenidas al norte, donde la formación vegetal original se ha reducido en toda el área, hasta quedar sólo relictos o especies testigo. Las formaciones vegetales fuera de las Áreas Bajo Régimen de Administración Especial (ABRAE), al norte del Orinoco, son las más modificadas, y los bosques, los ecosistemas más afectados. Cabe destacar que Portillo-Quintero *et al.* (2012), reportaron un incremento acelerado de las intervenciones al sur del Orinoco en el período 1988-2007, por la posible acumulación de sedimentos en los ríos, que son parte fundamental del sistema hidroeléctrico del país, siendo esta una característica que resalta en el informe de la lucha contra el cambio climático, al generar este sistema un 70% de la energía utilizada en el país.

En los cuadros III.6 y III.7 se presenta información relevante sobre algunos trabajos realizados sobre cobertura boscosa del país y sobre análisis de la dinámica de la deforestación mediante el uso de mapas históricos, y estado de conservación de los bosques y otras formaciones vegetales, respectivamente.

Cuadro III. 6 Estimaciones de la superficie cubierta por bosques.

Fuentes	2000	2005	2008	2010	2014	2015
FRA Venezuela (2015).	49.151.000	47.713.000	-	46.275.000	-	46.683.000
MPPEHyV (2014). Mapa Cobertura Vegetal de Venezuela.	-	-	-	-	44.960.812	-
Pacheco (2010).	-	49.946.252	49.919.100	48.846.000	-	-

Cuadro III. 7 Comparación de los estudios sobre cobertura de bosques a escala nacional.

Fuentes	Método	Escala	Insumos
FRA Venezuela (2015).	No especificado solo se menciona el factor de calibración utilizado y el uso de regresiones lineales simples para la proyección de los años en que no se tienen datos.	1:250000	Mapa vegetación 1977, 1995 y 2010. Anuarios de estadísticas forestales y Misión Árbol.
MPPEHyV (2014). Mapa Cobertura Vegetal de Venezuela.	Interpretación visual en pantalla	1:250000	Imágenes spot 2008-2010
Pacheco (2010) y Pacheco <i>et al.</i> (2011).	wall to wall y el método de detección de cambios por tabulación cruzada.	1:5M; 1:2M; 1:250000	Mapas de vegetación de Venezuela: 2 en formato digital (1982 y 1985) y 2 en analógico (1920y 1960). 2) Mapas globales: GLC2000-2001 y GlobCover 2008. / Composición de imágenes MODIS 2005 y 2010.
Madi <i>et al.</i> (2011).	Herramienta conceptual y cartográfica.	1:250000	Serie temporal de mapas de vegetación todos en digital desde 1982 hasta 2006. Imágenes spot (2008) y ortofotomapas del MPPA 2008.

La situación actual representa una oportunidad muy favorable para promover un cambio general hacia la utilización sustentable de los bosques en Venezuela. Portillo-Quintero *et al.* (2012), señalan que, si bien la actividad agropecuaria es el principal motor de la deforestación de Venezuela, esto no se refleja en indicadores positivos de producción, evidenciando poca eficiencia en el uso de las tierras y el manejo inadecuado de los recursos forestales. A nivel nacional, se cuenta con el conocimiento necesario para un manejo efectivo, así como para el seguimiento del impacto de políticas públicas diseñadas para tal fin, por lo que se demanda la utilización del satélite Miranda como herramienta de monitoreo, como bien es mencionado en el informe forestal, y se exige la accesibilidad a datos y métodos de estimaciones, para facilitar la validación de los mismos, generando así confianza en las cifras forestales oficiales y el desarrollo de un monitoreo de las emisiones y sumideros de carbono. Es momento de que el país aproveche el marco global que favorece la protección y la restauración de bosques, como elementos cruciales en la mitigación y adaptación al cambio climático, así como para asegurar mejoras en la calidad de vida de poblaciones asociadas a los mismos. Latinoamérica es pionera en la aplicación de este tipo de iniciativas, y existen ejemplos exitosos que podrían servir de base para nuestra incorporación en este proceso (Nasi *et al.*, 2011).

Pacheco *et al.* (2012), refieren el uso de las tecnologías de la información geográfica (TIG) para obtener un sistema MRV (Medición, Reporte y Verificación), de las emisiones de CO₂ producidas por la

deforestación, como parte de las estrategias REDD+ (Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación de bosque), según lo establecido en la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (UNFCCC por sus siglas en inglés). Los autores seleccionaron tres áreas “hot spot” de deforestación en Venezuela, las cuales corresponden a las figuras de Reservas Forestales (RFs) de Ticoporo, Caparo y San Camilo, todas ellas ubicadas en los Llanos Centro-Occidentales de Venezuela. La evaluación abarca las dos últimas décadas 1990-2000 y 2000-2010. Se utilizó el método de Las Guías de Buenas Prácticas del IPCC (IPCC, 2003, 2006) el cual combina los datos de actividad con los factores de emisión, durante el período 1990-2010. En este estudio se utilizan tanto datos procedentes de imágenes *Landsat*, como datos obtenidos en campo.

Las imágenes *Landsat* empleadas, corresponden al período de sequía (noviembre-abril), y con aproximadamente 2 años de diferencia entre los lapsos establecidos como referencia (1990, 2000 y 2010). El componente de campo se llevó solamente en la RF de Caparo, donde se estableció el monitoreo de la dinámica del bosque, con énfasis en el crecimiento y ecología de las especies arbóreas, durante los años 90. No se dispuso de información para las otras dos RF; sin embargo, por las características de los lotes boscosos monitoreadas en la RF Caparo, los autores consideraron la RF de Caparo representativa de los bosques en el resto de RF incluidas en este estudio. En el año 2010, los datos obtenidos se incluyeron en el proyecto RAINFOR (Red Amazónica de Inventarios Forestales), para la base de datos de zonas tropicales, descrita con amplitud en Peacock *et al.* (2007) y que puede consultarse a través del portal <http://www.forestplots.net/>.

Los resultados obtenidos por Pacheco *et al.* (2012) muestran que, en la década 1990-2000, se produjo la mayor deforestación, siendo la RF de Ticoporo, el espacio protegido con mayores pérdidas, seguida de la RF de Caparo y por último la RF de San Camilo, con 78.422,69 ha, 50.300,10 ha, y 16.722,30 ha, respectivamente; equivalente a una tasa media anual de deforestación de 6,1%, 3,7% y 3,6% en cada RF. Entre 2000-2010, la deforestación fue aproximadamente la mitad de la década anterior, con 35.057,55 ha, 28.409,13 ha y 6.546,04 ha para Ticoporo, Caparo y San Camilo, con una tasa media anual de deforestación de 6,8% en Ticoporo, 3,4% en Caparo y 2,2% en San Camilo. La deforestación generó emisiones equivalentes de CO₂ de 4,48 Mt CO₂/año para 1990-2000 y de 2,23 Mt CO₂/año para 2000-2010. Las emisiones derivadas de la deforestación en las tres RF representarían cerca del 10% de las emisiones totales producidas a nivel nacional para el período 1990-2000 y aproximadamente el 5% para el período 2000-2010.

III.6 Sector agropecuario

En el período transcurrido entre los censos agrícolas (vegetal y animal) de 1997 y 2007, el rebaño nacional mostró una clara disminución, según ULA (2011). Se estima una reducción de unas

490.240 cabezas de ganado, producto de la diferencia entre las 13.168.880 para el censo del año 1997 versus 12.768.640 cabezas para el año 2007, lo que representa una variación de -3,7 %. Márquez *et al.* (2015), estimaron la emisión de metano producto de la fermentación ruminal por parte de la ganadería bovina, y su posterior comparación con los valores relacionados con la actividad pecuaria, presentados en la Primera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático para Venezuela (MARNR, 2005), según métodos y directrices propuestos por el IPCC (1996). Los resultados de la estimación de emisión de metano, obtenidos mediante aplicación de las ecuaciones de Smink (2005) y Kelliher *et al.* (2007), se muestran en el **cuadro III. 8**. Según estos resultados, la emisión de CH₄ en el período de análisis, muestra una disminución proporcional. El valor referido en la Primera Comunicación de Cambio Climático para Venezuela (MARNR, 2005) fue de 712 Gg, mientras que Márquez *et al.* (2015) contabilizan 710 Gg. La estimación de los totales de emisión para el rebaño nacional, con las ecuaciones de Kelliher, es mayor en un 28% respecto a la señalada en la CNCC de Venezuela. La estimación derivada de la ecuación de Smink (2005), arrojó valores mayores en un 33,4%. De igual manera, los valores de emisión estimados utilizando el mismo valor de Factor Emisión de Metano reportado por el IPCC (56 kg/cabeza año), también fueron superiores (**Cuadro III. 8**). La estimación planteada por Márquez *et al.* (2015) es general, debido a que no toma en cuenta las características propias de los diversos sistemas ganaderos del país. El desarrollo de investigaciones que consideren un enfoque sistémico y estimen el balance de GEI, puede permitir orientar la toma de decisiones para conseguir sostenibilidad del sistema de producción, las cuales pudiesen considerarse para la definición de políticas públicas relacionadas con incentivos por servicios ambientales para los ganaderos.

Cuadro III. 8 Emisión de metano entérico por el rebaño bovino en Venezuela, estimado mediante diferentes ecuaciones para los años 1997 y 2007.

Año	Método / ecuación	Factor de conversión	Consumo animal	Valor energético de la dieta	Emisión
		kg/cabeza/año	Mj	Mj	(Gg)
1997	PCNSCC	56*			712
2007	PCNSCC	56*			710
1997	Kelliher (2007)	56*	123	9.6	1277
2007	Kelliher (2007)	56*	123	9.6	1229
1997	Smink (2005)	81.2	123	9.6	1069
2007	Smink (2005)	81.2	123	9.6	1030
1997	Smink (2005)	56*	123	9.6	737.4
2007	Smink (2005)	56*	123	9.6	710

Fuente: López Marques *et al.*, 2015.

III.7 Gestión de desechos

III.7.1 Desechos sólidos.

En Venezuela, durante los últimos veinte años, se ha incrementado la construcción de rellenos sanitarios y vertederos de residuos sólidos. Esta tendencia se ha visto favorecida por el proceso de

descentralización y transferencias de competencias a nivel municipal, instituido en la Carta Magna del año 1999 y en la Ley Orgánica de Régimen Municipal (2010). El Ministerio del Poder Popular para el Ambiente (MPPA, 2012), informó sobre la culminación y entrega de 49 obras de conversión de vertederos en rellenos sanitarios en todo el territorio nacional, con la inauguración para el año 2011 de nuevos espacios como Lomas del Calvario, en el estado Mérida, y Los Cocos, en Delta Amacuro.

Para el año 2015, Blanco (2015), reporta que son muchas las ciudades de Venezuela que carecen de un servicio óptimo de recolección de residuos y desechos sólidos y de un relleno sanitario. Venezuela no cuenta actualmente con la cantidad suficiente de rellenos sanitarios, ya que se requiere la construcción de aproximadamente 150. En términos de políticas en materia de desechos sólidos, se observa que están poco orientadas a la reducción, reutilización y reciclaje (Caldera & Fuente, 2012). La tasa de generación de los residuos sólidos urbanos (RSU) en Venezuela, es de 1,19 kg/hab/día para el año 2012, según el Instituto Nacional de Estadísticas (INE, 2013). En las cifras suministradas por la Unidad Ejecutora de Desechos Sólidos del Ministerio del Poder Popular para el Ambiente (2012), el número de rellenos sanitarios a escala nacional pasó de 1 en el año 2006, a 83 para el año 2012, siendo 51 de ellos construidos ese último año.

Este aumento refleja el apoyo del Banco Interamericano de Desarrollo para mejorar la gestión de residuos y desechos sólidos del país, mediante el programa parcialmente financiado por un crédito de US\$140 millones, llevado a cabo en el año 2010. Este proyecto pretendió, en cinco años, disponer unas 1.100 toneladas diarias que se encuentran en vertederos a cielo abierto, en rellenos sanitarios ambientalmente normados, construidos con fondos del programa del Banco Interamericano de Desarrollo (2010). En la [figura III. 3](#) se puede observar el total de residuos y desechos sólidos recolectados en Venezuela entre los años 2006 y 2012 (Blanco, 2015), en donde se destaca el incremento de 24.814 mil toneladas para el año 2006 a 35.375 mil toneladas para el año 2012. Seguidamente, en la [figura III. 4](#) se puede observar la tasa de recolección estimada de residuos y desechos sólidos per cápita en Venezuela, entre los años 2006 y 2012 (Blanco, 2015), en donde se destaca un incremento de 0,92 kilogramos por día (kg/d) para el año 2006 y 1,90 kg/d para el año 2012.

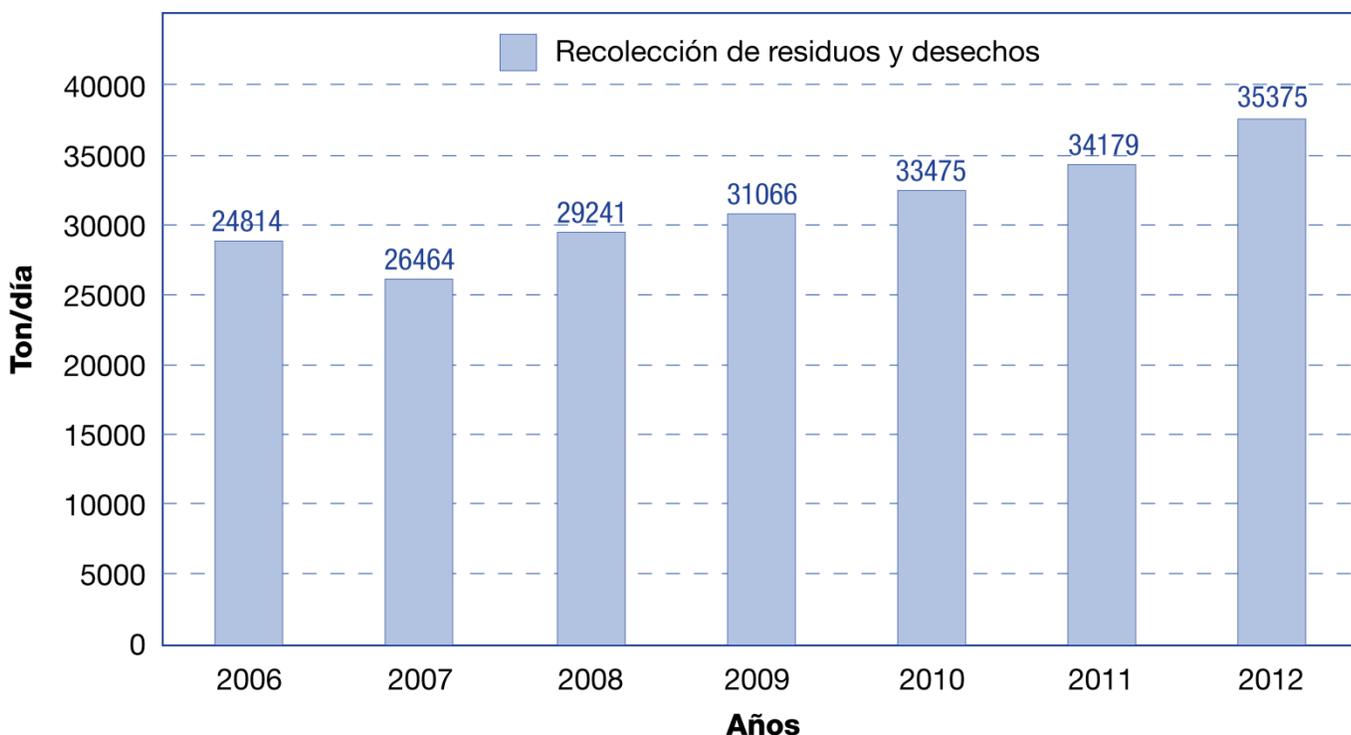


Figura III. 3 Recolección estimada de residuos y desechos sólidos (Toneladas/día). Período 2006-2012. Fuente: Blanco, 2015.

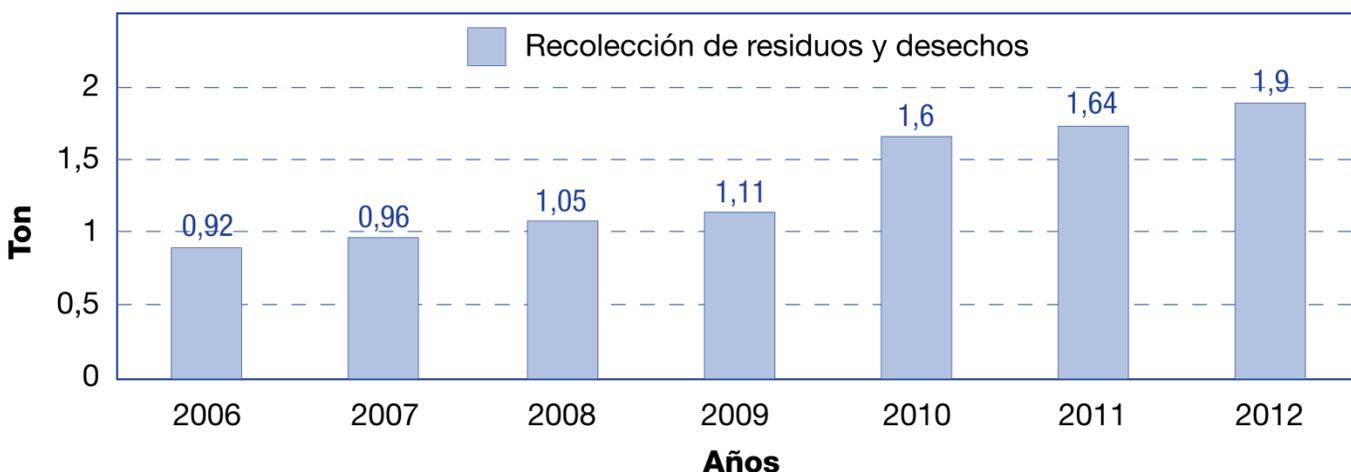


Figura III. 4 Recolección estimada de residuos y desechos sólidos per-cápita en Venezuela (kg/día/persona). Período 2006-2012. Fuente: Blanco, 2015.

En la figura III. 5 se representan las cantidades de residuos y desechos sólidos (en toneladas) recolectados en el Distrito Capital, en los años 2006 al 2012, principal entidad federal contribuyente de desechos sólidos en el Relleno Sanitario La Bonanza (Blanco, 2015). Cabe destacar que el relleno sanitario recibe aportes de desechos de nueve municipios del estado Miranda, así como también desechos sólidos provenientes de algunos establecimientos de salud del estado Aragua (Blanco, 2015). Es importante resaltar que, solamente en Caracas, se recolectan alrededor de 2.500 toneladas de residuos y desechos sólidos diariamente (MPPA, 2012). Para el año 2012, según el Instituto Nacional de Estadísticas, en su boletín de Generación de Residuos de Desechos Sólidos, en Venezuela se recicló un

aproximado de 611.724 kg de residuos, lo que equivale al 2,28% del total de lo que se recolectó para ese año, distribuidos, como se observa en la figura III. 6, entre plásticos, papel y cartón, aluminio y hierro, vidrios y otros desechos (Blanco, 2015). Por otra parte, es importante hacer notar que Venezuela carece de indicadores propios de generación de residuos y desechos sólidos; esto debido a la falta de sistematización y control en la recolección de la data e información relativa al tema, como lo señala (Valera & Acuña, 2008).

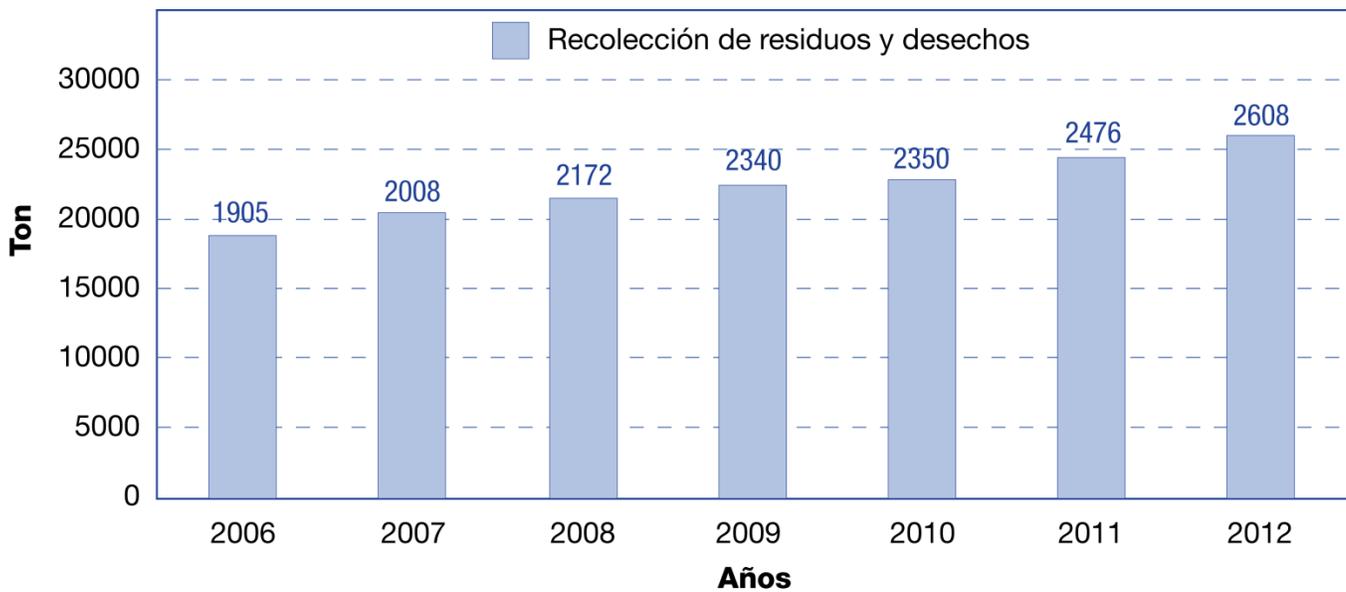


Figura III. 5 Recolección estimada de residuos y desechos sólidos (Toneladas) en el Distrito Capital. Período 2006-2012. Fuente: Blanco, 2015.

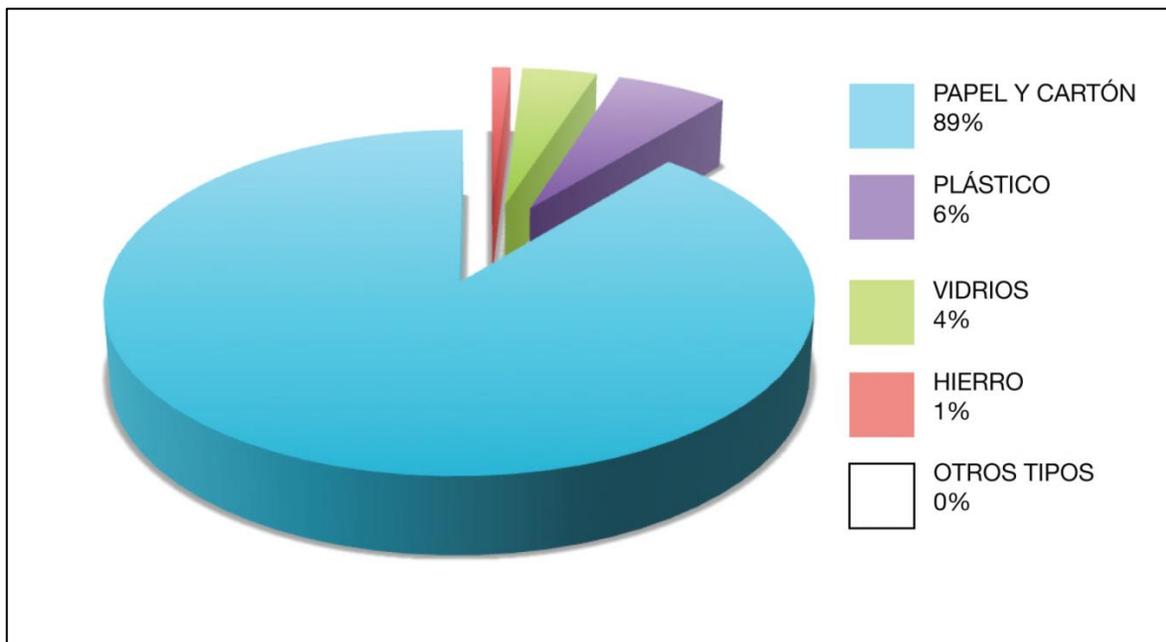


Figura III. 6 Total de desechos sólidos reciclados (kg) por tipo en Venezuela. Año 2012. Fuente: Blanco, 2015.

El aumento del Producto Interno Bruto (PIB) nacional está íntimamente relacionado con el aumento en la producción de residuos y desechos sólidos en el país, asociado a la existencia de un mayor poder adquisitivo de bienes y servicios por parte de la población. En la **figura III. 7** se puede observar la relación entre el aumento de la generación de desechos sólidos, el incremento del PIB per cápita y la población (Blanco, 2015). La forma de disposición final de residuos y desechos sólidos más utilizada en Venezuela es el vertedero (INE, 2013). Los desechos de naturaleza orgánica, una vez depositados en los rellenos sanitarios, se descomponen generando metano (CH₄), el cual es un GEI de gran potencial de calentamiento global.

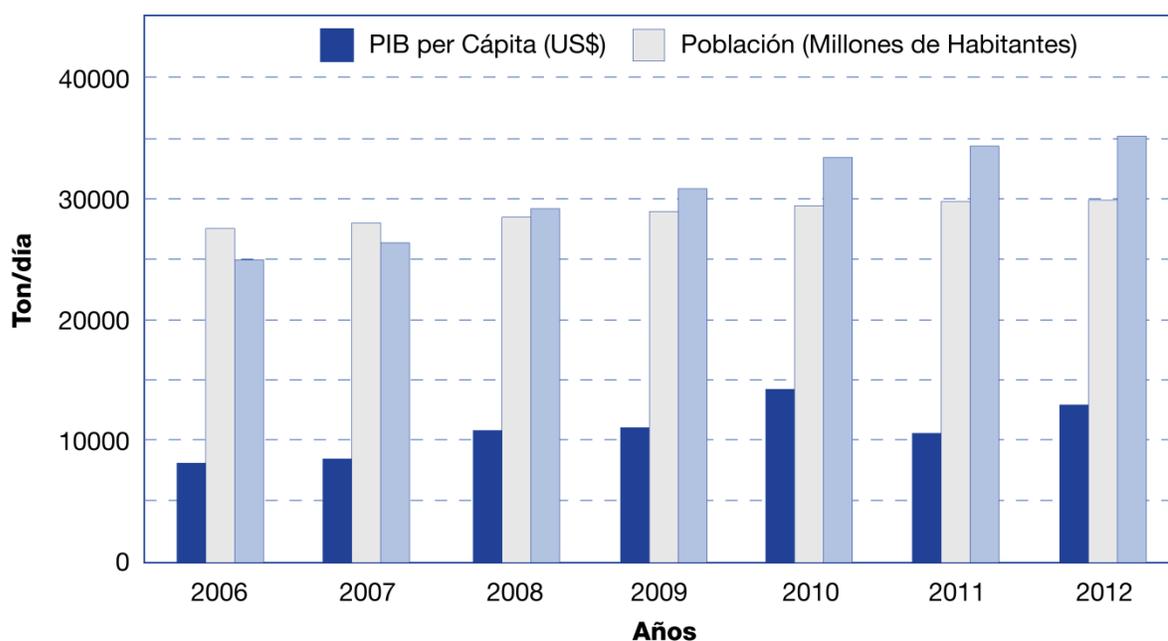


Figura III. 7 Relación entre el aumento de la Generación de desechos sólidos, PIB per cápita y población. Período 2006-2012. Fuente: Blanco, 2015.

III.7.2 Manejo de los desechos en el país

En Rodríguez (2004) se revisaron las tecnologías para mitigar los efectos ambientales de emisiones de biogás en sitios de disposición final de desechos sólidos urbanos (DSU) tomando como caso de estudio el relleno sanitario La Bonanza (estado Miranda). Adicionalmente se efectuó una valoración económica del biogás emitido en el mencionado relleno sanitario.

A continuación, se listan un conjunto de consideraciones que deben ser incluidas en nuevos estudios en el tema de desechos a escala nacional:

1. Determinación del peso de los desechos. Cantidad de desecho que maneja el sitio de disposición final, que requiere de un sistema de pesas (romana)

2. Determinación de la composición del desecho sólido urbano, a fin de saber qué cantidad de materia orgánica posee el mismo. La materia orgánica por descomposición, con la presencia de bacterias metanogénicas, genera el biogás proveniente de este sector.
3. Determinación de la composición del biogás proveniente del desecho sólido urbano, que se dispone en el vertedero, a fin de evaluar la cantidad de metano (CH₄) que provee el potencial calorífico a este biogás. En este sentido, se debería realizar la medición utilizando el sistema de tuberías, compresor y un *piézómetro* que permita medir el flujo de biogás. Adicionalmente será necesario contratar un laboratorio ambiental que determine la composición del biogás.
4. Realizar la curva del biogás del sitio de disposición final proyectada al menos a 20 años que suele ser el tiempo de vida útil de un relleno sanitario, basada en la cantidad de desechos en t/año que maneja el sitio de disposición final de DSU.

A manera de ejemplo, para el resto de vertederos del país, en la [figura III. 7](#) se muestra la curva del biogás del Relleno Sanitario La Bonanza (Rodríguez, 2004), que puede servir de referencia a fin de determinar el máximo flujo de biogás captable en Nm³/h, que permitirá definir el respectivo control y aprovechamiento para la posterior valorización de un relleno en particular. En este sentido, el dato sobre flujo máximo de biogás captable de cada relleno sanitario, permitiría tomar decisiones en cuanto a si el sitio de disposición final es un candidato potencial para un proyecto de Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) o para mercadear la reducción de las emisiones de GEI, proveniente del control y/o aprovechamiento del biogás. Ello podría favorecer la obtención de financiamiento para mejorar el manejo de los vertederos, o para que las alcaldías puedan ejecutar el proyecto de control y/o aprovechamiento del biogás, lo que permitiría a la vez, su transformación de vertedero a relleno sanitario totalmente controlado.

El [cuadro III. 9](#) y el [cuadro III. 10](#) presentan los resultados de la valorización del biogás producido en el relleno sanitario La Bonanza, con base en los datos suministrados por la empresa manejadora de este sitio de disposición final de desechos sólidos urbanos (Cotécnica, 2002). En los mismos, se observan las cantidades de CO₂ equivalente mercadeables, bien sea como un proyecto MDL o MDS, siendo factible la participación en este tipo de proyectos, ya que reduce más de 15.000 t/año de CO₂ equivalentes, que representan las toneladas de CH₄ provenientes del sector desecho multiplicadas por 21, que es el potencial calorífico para llevarlo a un factor común (CO₂ equivalente) para su fácil comercialización en el mercado internacional, basado en la metodología del IPCC. Los certificados por reducción de emisiones (CER) provenientes de proyectos que controlen y aprovechen el biogás, generado de la disposición final de desechos sólidos urbanos, pueden apoyar financieramente a las

empresas y organismos municipales que manejan sitios de disposición final a lograr la conversión de vertedero a relleno sanitario controlado, para lograr alcanzar las metas presentadas en las INDC por Venezuela en materia de desechos (Rodríguez, 2004).

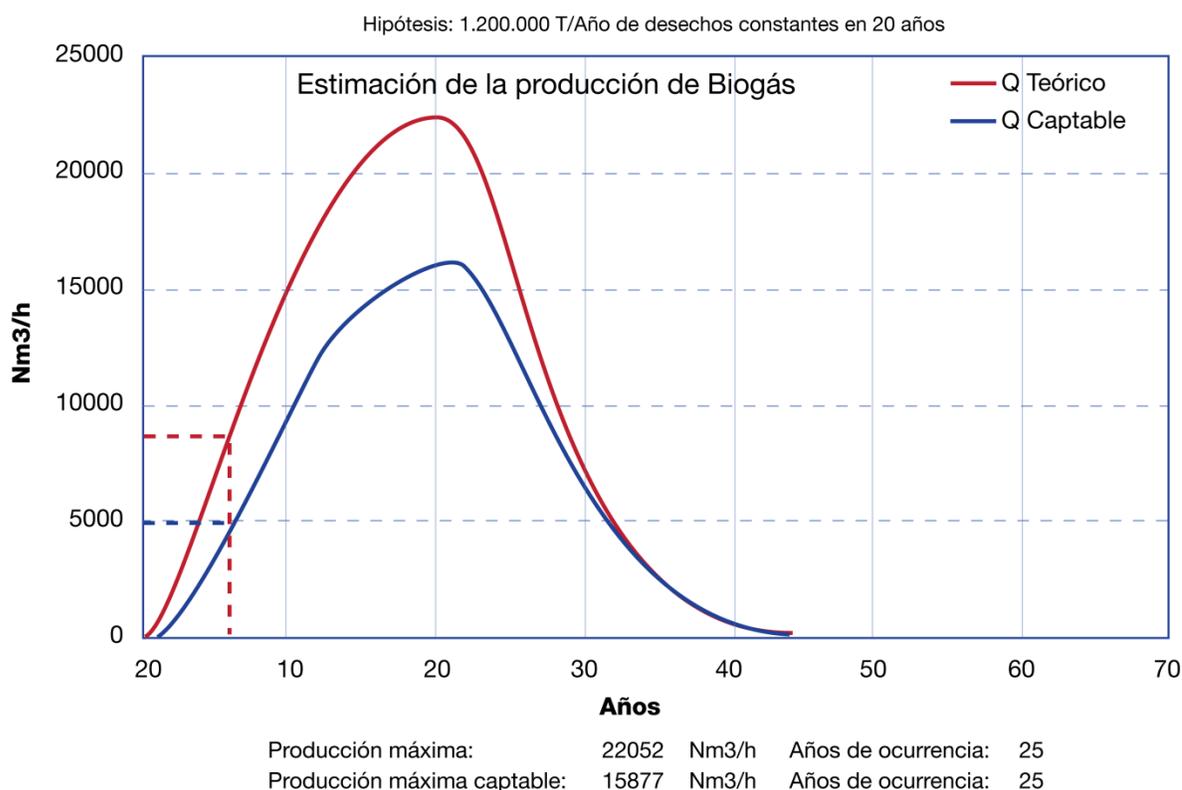


Figura III. 8 Evolución de la producción de Biogás en el relleno Sanitario “La Bonanza”. Fuente: Cotecnica, 2002.

Cuadro III. 9 Inventario de Reducción de Emisiones GEI provenientes del Biogás producido en el Relleno Sanitario La Bonanza (Gg/año), por la quema de CH₄ en CO₂.

Año	Biogás (Gg/año)	Emisiones de CO ₂ EQ (Gg/año)	Emisiones de CO ₂ Quema (Gg/año)	Emisiones de CO ₂ Mercadeables (Gg/año)	Emisiones de CO ₂ Mercadeables (t/año)
2004	23.490	197.318	109.796	87.522	87.522
2008	46.980	394.635	219.591	175.044	175.044
2018	70.471	591.953	329.387	262.566	262.566
2024	74.591	626.563	348.645	277.918	277.918

Fuente: Rodríguez, 2004.

Cuadro III. 10 Inventario de emisiones del Biogás producido en el Relleno Sanitario La Bonanza (t/año) y su valor económico estimado por la quema de CH₄ en CO₂.

Año	Emisiones de CO ₂ M (t/año)	Emisiones de CO ₂ M (t)	Valor de CO ₂ M (US\$/tCO ₂)	Valor flujo CO ₂ Mercadeables (US\$/año)	Valor existencia CO ₂ Mercadeables (US\$)
2004	87.522	87.522	5	437.610	437.610
2008	175.044	262.566	5	875.221	1.312.831
2018	262.566	525.133	5	1.312.831	2.625.662
2024	277.918	803.050	5	1.389.588	4.015.251

Fuente: Rodríguez, 2004.

III.8 Conclusiones y recomendaciones

Se presentan las conclusiones y recomendaciones respecto a las oportunidades de mitigación, orientadas fundamentalmente a la reducción de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en la industria petrolera, en aspectos tales como la eficiencia energética, cambios en los combustibles, prevención de fugas y reducción de venteos de gas natural; en el caso de la industria eléctrica, en aspectos como el cambio de combustible utilizado y la evaluación de potencialidades de las energías renovables; en el sector forestal, en el aumento de los sumideros de CO₂; en el sector agropecuario, en la reducción de las emisiones GEI particularmente metano y en el manejo y gestión de desechos sólidos en el país. Así mismo se presenta información en materia de consumo de energía por el transporte y la industria de la construcción.

Conclusiones generales

- Hasta el momento de la conclusión del Primer Reporte Académico sobre Cambio Climático (PRACC), solo se contaba a el país, con el Inventario Nacional de Emisiones de Gases Efecto Invernadero del año 1999 y con la Primera Comunicación Nacional en Cambio Climático de Venezuela publicada por el MINAMB en el año 2005. Ambos documentos están desactualizados y atrasados en cuanto a las acciones que el estado venezolano ha debido emprender para cumplir con las responsabilidades adquiridas por el país como Parte de la CMNUCC y más recientemente, con el Acuerdo de Paris. Por tanto, al no disponer de la información reciente sobre ambos insumos, el presente Capítulo se centra en estudios e investigaciones llevados a cabo por universidades, centros de investigación, y algunas dependencias de PDVSA, que contienen registros puntuales posteriores al año 2005, sobre nivel de emisiones GEI en algunos sectores, como el de la construcción, agroforestal y agropecuario.
- El Estado venezolano no ha implementado el Plan Nacional de Mitigación, aun cuando está incluido en el documento Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (INDC por sus siglas en

inglés), ratificado por el país a finales del año 2016 y entregado a la Secretaría de la Convención en Julio del presente año. A partir de la implementación de su NDC, el país estima una reducción en un 20% de emisiones GEI para el 2030. Tampoco se hace referencia a la Estrategia Nacional de Cambio Climático, plataforma institucional idónea para alcanzar un desarrollo bajo en emisiones, como compromiso país y como lo han hecho otros países en la región.

Conclusiones específicas

- Continúan siendo altos los niveles de emisiones GEI por parte de las industrias petrolera, gasífera, carbonífera y eléctrica del país y de los sectores del transporte, construcción, forestal, agropecuario y del manejo de los desechos sólidos.
- La industria petrolera continúa siendo la principal fuente de emisiones GEI en el país, por venteo a la atmósfera y quema del gas, y por fallas derivadas de problemas asociados al mantenimiento preventivo y correctivo en las instalaciones y equipos de la industria.
- El sector transporte se identifica como la segunda fuente en importancia en emisiones GEI, particularmente por el proceso de obsolescencia y dificultades en el mantenimiento de las unidades del parque automotor, de los sectores privado y del transporte público.
- Una de las fuentes importantes en emisión GEI es la pérdida de cobertura vegetal por deforestación. En Venezuela las áreas más afectadas son las Áreas Bajo Régimen de Administración Especial (ABRAE), y la porción norte del territorio nacional.
- En gran parte del territorio nacional y en especial en los llanos del Orinoco y en la Gran Sabana (Estado Bolívar), se reconoce como grave el problema asociado a la pérdida de vegetación a causa del fuego.
- Se cuenta con resultados preliminares de niveles de emisiones GEI, específicamente metano (CH_4), generado por la actividad ganadera.
- Se cuenta con mediciones que permiten cuantificar los niveles de emisión GEI (principalmente metano CH_4), en instalaciones de disposición final de desechos sólidos, como en el caso del Relleno Sanitario de la Bonanza ubicado en el estado Miranda, en la región centro norte del país. Las mediciones provienen de investigaciones preliminares a nivel académico y en empresas manejadoras de sitios para la disposición de sólidos de origen urbano.

Recomendaciones

- Reducir las emisiones GEI en la industria energética del país, principalmente a través de la minimización del venteo y quema de gas (industria petrolera) y, mantenimiento preventivo y correctivo en las instalaciones y equipos.
- Promover la eficiencia energética; cambios de combustibles; la captura de dióxido de carbono en yacimientos de la industria petrolera y el uso de energías alternas.
- Diversificar las fuentes de energía con énfasis en las de carácter renovable y reactivar los programas de parques eólicos e incentivos para el uso de la energía solar.
- En el sector transporte, se identifica como viable la creación de incentivos para mejorar el estado del parque automotor tanto el público como el privado, con la finalidad de reducir las emisiones GEI.
- Mejorar la calidad y precisión de las evaluaciones de la cobertura vegetal y de los recursos forestales del país.
- Promover en las áreas urbanas las construcciones verdes y eficientes en el consumo de energía y recursos, con la dotación de sistemas que faciliten el ahorro de agua y de electricidad en los edificios de los sectores públicos, privados, residenciales, comercial y el industrial.
- Cuantificar las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) por la deforestación y promover los estudios para obtener los niveles de captura de CO₂ por la vegetación y determinar aquellos ecosistemas y especies más eficientes en el secuestro de carbono.
- Incrementar la efectividad, alcance y cobertura de los programas de prevención y combate de incendios de vegetación a nivel nacional y en especial en las ABRAE.
- Desarrollar programas de investigación en el sector agropecuario que consideren un enfoque sistémico en la estimación del balance de emisiones GEI, lo cual puede orientar la toma de decisiones para alcanzar la sostenibilidad del sistema de producción. Estas decisiones podrían considerarse para la definición de políticas públicas relacionadas con incentivos por servicios ambientales para los ganaderos.
- Desarrollar programas de modernización y saneamiento del sistema de recolección y disposición final de desechos sólidos y diseñar estrategias para la reducción de emisiones de metano en los sitios de disposición final de desechos sólidos urbanos, y fomentar el reciclaje.

- Las autoridades con competencia en el área ambiental deberán realizar el Plan Integral de Manejo de Desechos Sólidos, particularmente en áreas urbanas.

III.9 Referencias

- Angulo, C., I., Suárez & D. Mollicone. (2011). Dinámica de la deforestación en Venezuela: análisis de los cambios a partir de mapas históricos. *Interciencia* 36:578–586
- Anselmi, A.; H. Rolo, Delgado, N., R. Santana, A. Sena & J. Sánchez. (2000). Inventario de emisiones de gases de efecto invernadero de la IPPCN. Informe Técnico INTEVEP INT-7936
- Blanco, S. (2015), Evaluación de la gestión integral del Relleno Sanitario La Bonanza, estado Miranda, Trabajo de Grado no publicado. Universidad Simón Bolívar. Caracas, Venezuela.
- Cabral, M. (2008) Determinación de la eficiencia energética en el consumo de combustibles de vehículos particulares en el Área Metropolitana de Caracas. Universidad Metropolitana. Caracas.
- Caldera, Y. y Fuente, L. (2012). Calidad del servicio de recolección de residuos sólidos en el sector Concordia Vieja del municipio Cabimas. Laboratorio de Investigaciones Ambientales, Universidad del Zulia. *Revista arbitrada venezolana del Núcleo LUZ-Costa Oriental del Lago*. Vol. 7 N° 1, pp. 177 – 186.
- Caro, A. (2007). La seguridad energética de América Latina y el Caribe en el contexto mundial. Publicación CEPAL, Santiago de Chile, Chile.
- Cotécnica (2002). Disposición de Desechos Industriales Especiales Relleno Sanitario La Bonanza, Informe Final La Bonanza C.A., Onix, Otec. Caracas, Venezuela.
- Durán, V. (2009). Aprovechamiento de las energías renovables para la preservación del ambiente. Ministerio del Poder Popular para la Energía y Petróleo. Caracas
- Fajardo, L., González, V., Nassar, J., Lacabana, P., Portillo, C., Carrasquel, F., y Rodríguez, J. (2005). Tropical Dry Forests of Venezuela: Characterization and Current Conservation Status1. *Biotropica* 37:531–546.
- FAO (2010). Global Forest Resources Assessment. FAO forestry paper 163. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. Available from <http://www.fao.org/forestry/fra/fra2010/en/> (accessed February 9, 2015).
- Favenpa (2012). Cámara de Fabricantes Venezolanos de Productos Automotores. Parque Automotor Venezolano. Caracas.
- Hernández, E., y Pozzobon, E. (2002). Tasas de deforestación en cuatro cuencas montañosas del Occidente de Venezuela. *Revista Forestal Venezolana* 46:35–42.
- Instituto Nacional de Estadística (INE) (2013). Boletines electrónicos. Estadísticas sociales y ambientales. Recuperado el 05 de noviembre de 2014 desde http://www.ine.gov.ve/documentos/Ambiental/PrinIndicadores/html/ambien_medioAmbiente_3.html.
- IPCC (2006). Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Volumen Capítulo 2 Energía, Capítulo 2 Combustión estacionaria Preparado por el Programa Nacional de Inventarios de Gases Efecto Invernadero, Eggleston H.S., Buendía L., Miwa K., Ngara T., and Tanabe K. (eds). Publicado por: Instituto para las Estrategias Ambientales Globales (IGES), Japón.
- IPCC (2014) Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Kelliher, F., Dymond, J., Arnold, G., Clark, H and. Rys, G. 2007. Estimating the uncertainty of methane emissions from New Zealand ruminant animals. *Agricultural and forest meteorology*. 143: 146-150.
- Lozada, J. R. (2012). Deforestación en Venezuela arriesga el desarrollo sustentable. *Ecodiseño & Sostenibilidad*. 1(1):163-169.
- López Márquez, J., Andressen, R. & D. Nieves. (2015) Estimación de emisión de metano por la ganadería bovina en Venezuela, período 1997-2007. UCLA-ULA-UNELLEZ <http://studyres.es/download/3354179>
- Madi, Y., J. Vázquez, León, A., & Rodríguez, J. (2011). Estado de conservación de los bosques y otras transformaciones vegetales en Venezuela. *Biollania* 10:303–324.
- Méndez, Y. (2017). Reflexiones sobre energía solar fotovoltaica. Universidad Simón Bolívar. Caracas.

- http://venezuela.ahk.de/fileadmin/ahk_venezuela/Dokumente/Conversatorios/Presentacion__Yaru.pdf
 Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales (MARN) (1999). Inventario Nacional de Emisiones de Gases Efecto Invernadero. Año 1999. Caracas, Venezuela. 84 pág.
- Ministerio del Ambiente (2005). Primera Comunicación Nacional en Cambio Climático de Venezuela. Caracas.
- Ministerio del Poder Popular para el Ambiente (MPPA) (2012). Dirección de Estadísticas Ambientales. Caracas.
- Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica (MPPEE) Procesos medulares Página Web Oficial del Ministerio. Recuperada en <http://www.corpoelec.gob.ve/generaci%C3%B3n> y consultada en agosto 2016.
- Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica (MPPEE) (2013). Anuario Estadístico 2013. Oficina de Planificación, Presupuesto y Organización. Caracas.
- Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica (MPPEE) (2015). Anuario Estadístico 2015. Oficina de Planificación, Presupuesto y Organización. Caracas.
- Ministerio del Poder Popular para Energía y Petróleo (2014). Petróleo y otros datos estadísticos 2012. Caracas.
- Molina, G. & Albarran, A. (2013). Análisis multitemporal y de la estructura horizontal de la cobertura de la tierra: Parque Nacional Yacambú, estado Lara, Venezuela. *Cuadernos de Geografía* 22:25–40.
- Nasi, R., Putz, F., Pacheco, P., Wunder, S. & Anta, S. (2011). Sustainable forest management and carbon in tropical Latin America: The case for REDD+. *Forests* 2:200–217.
- Pacheco, C., Aguado, I. & Mollicone, D. (2011). Las causas de la deforestación en Venezuela: un estudio retrospectivo. *Biollania* 10:281–292.
- Pacheco, C., Aguado, E., Vilanova & Martínez, S. (2012) Utilización de las tecnologías de la información geográfica (TIG) en el desarrollo de un sistema de medición, reporte y verificación (MRV) de emisiones de CO₂ en tres áreas “hot spot” de deforestación en Venezuela. XV Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica, Madrid, AGE-CSIC, 19-21 de septiembre de 2012.
- Petróleos de Venezuela, S.A. (2014). Informe de Gestión Anual de PDVSA. Caracas.
- Petróleos de Venezuela, S.A. (2015). Informe de Gestión Anual de PDVSA. Caracas.
- Portillo-Quintero, C., Sánchez, A., Valbuena, C., González, Y. y Larreal, J. (2012). Forest cover and deforestation patterns in the Northern Andes (Lake Maracaibo Basin): A synoptic assessment using MODIS and Landsat imagery. *Applied Geography* 35:152–163.
- Rebolledo, R. (2013). Evaluación de las fuentes de energía solar y energía eólica en Venezuela frente a los efectos del Cambio Climático. Tesis Doctoral. Universidad Simón Bolívar. Caracas, Venezuela.
- Repsol (2015). Producción de gas costa afuera. Proyecto Cardón IV. Recuperado de: <http://www.camarapetrolera.org/wp-content/uploads/2015/07/5RAMIRO-PAEZ-Proyecto-Card%C3%B3n-IV-V-Congreso-Hidrocarburos-1.pdf>
- República Bolivariana de Venezuela (2015) Contribuciones previstas nacionalmente determinadas de la República Bolivariana de Venezuela para la lucha contra el Cambio Climático y sus efectos. noviembre, 2015. Caracas, Venezuela.
- Rodríguez, D. (2004), Valorización económica del biogás que se recupera en el Relleno Sanitario La Bonanza (estado Miranda), Trabajo de Grado no publicado. Universidad Simón Bolívar. Caracas, Venezuela.
- Rodríguez, J., Rojas-Suárez, F. & Giraldo, D. (2010). Libro rojo de los ecosistemas terrestres de Venezuela. Provita. Shell Venezuela, Lenovo. Caracas, Venezuela.
- Sánchez, J.C. (2004). Opciones de Mitigación de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero. Proyecto MARN PNUD VEN/00/G31 Primera Comunicación Nacional en Cambio Climático de Venezuela, Caracas, Venezuela. 50 p.
- Sánchez, J.C. & A. Rondón. (2007). Inventario de emisiones atmosféricas del Complejo Industrial José Antonio Anzoátegui. Informe al Condominio Industrial Jose.
- Sánchez, J.C. (2013). Emisiones de GEI sector transporte. Primer Simposio Nacional sobre Cambio Climático: Perspectivas para Venezuela. Academia de Ciencias Físicas Matemáticas y Naturales, Caracas.

Sexton, J. (2015). Conservation policy and the measurement of forests. *Nature Climate Change* 6:192–196.

Smink, W. 2005. Calculation of methane production from enteric fermentation in cattle, excluding dairy cows. Project number 0377-05-02-02-007. Senter Novem, Utrecht. The Netherlands.

Valera, V., & S. Acuña (2008). Indicadores de generación de residuos y desechos sólidos en Venezuela. Universidad Metropolitana. I Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos. Caracas, Venezuela. Recuperado el 15 de agosto de 2015 desde <http://www.redisa.uji.es/artSim2008/gestion/A1.pdf>.

US Energy Information Administration (US-EIA). (2015). Venezuela. Consultado en agosto de 2016
Recuperado de:

<https://www.eia.gov/beta/international/analysis.cfm?iso=VEN>

Zapata, J. (2012). Consumo energético y emisiones asociadas a materiales de construcción. Acero y Cemento en Venezuela. Congreso Nacional del Medio Ambiente. Madrid, España.

Epílogo

La Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales (ACFIMAN) ha querido contribuir al inventario de tareas que como laboriosas hormigas realizan los científicos venezolanos dentro y fuera del país, para tratar de desentrañar las más diversas causas y consecuencias de las investigaciones parciales realizadas en torno al problema del cambio climático -una de las causas del cambio global que amenaza al planeta- de modo de construir una arquitectura de lineamientos y estrategias destinadas a dotar a nuestra nación de políticas públicas para enfrentar aquellos escenarios del clima que se consideren más probables para el país. Parte de esas tareas que realizan científicos, investigadores y técnicos nacionales las presentamos hoy en el Primer Reporte Académico de Cambio Climático (PRACC).

La primera impresión que se obtiene de las simulaciones del cambio climático que cubren el territorio nacional, realizadas a partir de los nuevos modelos integrados del clima, las Rutas de Concentración Representativas (RCP, por sus siglas en inglés), presentadas en el PRACC, nos muestran toda la franja territorial extendida de oeste a este desde la desembocadura del Río Meta hasta el delta del Río Orinoco -asiento de la producción agrícola cerealista y de la actividad pecuaria nacional- sometida a un aumento sostenido de la temperatura que compromete la seguridad alimentaria del país.

Como complemento al PRACC y con base en los hallazgos documentados en él, se preparó un documento sobre los hallazgos y recomendaciones, que por su naturaleza, constituyen parte integral del PRACC: el Resumen para Responsables de Política (RRP) en cambio climático, que se espera sirva de apoyo a la toma de las decisiones que el país debe acometer a la brevedad en atención al cumplimiento de sus compromisos post Acuerdo de París.

El conjunto, el PRACC y el RRP aportan evidencias sobre hallazgos científicos relevantes y, sobre lineamientos y estrategias para el desarrollo de la ciencia del cambio climático en el país. Los hallazgos representan aval de confiabilidad y robustez indiscutible para la formulación de la política científica conducente a una adecuada gestión de los procesos de adaptación y mitigación frente al cambio climático. Los lineamientos y estrategias pueden orientar a los responsables de políticas específicas en el tema de cambio climático.

Se citan a continuación, de forma sucinta, algunos hallazgos que muestran parte de las debilidades y fortalezas del conocimiento actual en cambio climático en el país:

- **Incertidumbre sobre efectos hidrometeorológicos locales atribuibles al cambio climático.** Un aspecto de la mayor relevancia es la carencia de trabajos que representen a escala apropiada los cambios de clima que podrían ocurrir en localidades específicas del territorio nacional. El avance científico comprende algunas evaluaciones basadas en modelos del IPCC AR5. No existían para el período analizado en el PRACC estudios de downscaling que permitieran precisiones locales. Existen estudios de efectos derivados del fenómeno de El Niño, pero no parece que sus recomendaciones hayan sido instrumentadas. La red de registro de datos climáticos e hidrológicos es insuficiente. La información obtenida del conjunto de satélites nacionales e internacionales muestra que el territorio venezolano, ha sido y muy probablemente será en el futuro cercano, propenso a la afectación de extremos climáticos, pero se carece de estudios que diferencien eventos debido a fenómenos naturales como el ENSO o el Dipolo del Atlántico Norte, de causas atribuibles al cambio climático.
- **Carencia de estudios de línea base en ecosistemas terrestres, marino-costeros y áreas protegidas.** Existe información apropiada sobre condiciones ambientales de los ecosistemas terrestres en algunas áreas geográficas representativas de la biodiversidad del país. Sin embargo, dista mucho de cubrir importantes porciones del territorio nacional; en efecto, la información publicada sobre los ecosistemas de la Cordillera de la Costa, la Cordillera de los Andes, la Serranía del Interior, los ecosistemas litorales y los de áreas áridas y semi-áridas, es escasa. Más serio aún es la carencia de información de línea base para niveles de organización específicos como comunidades, poblaciones e incluso especies. Los científicos mostraron preocupación por la imprecisión de la base cartográfica donde se representan los ecosistemas descritos, carente de ajuste a REGVEN^{Ep.1}. La

^{Ep.1} A partir del 1° de abril de 1999 en Venezuela, el sistema de referencia PSAD 56 o La Canoa, elipsoide internacional de Hayford fue sustituido por el sistema SIRGAS REGVEN (Sistema de Referencia Geocéntrico para Las Américas- Red Geocéntrica Venezolana), elipsoide GRS 80. Estos cambios ocurren debido a varios factores, tales como la disponibilidad y uso creciente y continuo de modernas tecnologías, como el GNSS, caracterizado por un posicionamiento geodésico más exacto que las técnicas tradicionales o convencionales de posicionamiento

estandarización de la cartografía es necesaria para efectuar evaluaciones multitemporales.

1. En el caso de las áreas naturales protegidas, se dispone de descripción de las características ambientales de sus ecosistemas, pero se carece de un sistema de monitoreo y seguimiento de variables que permitan evidenciar posibles efectos del cambio climático. Tampoco se identifican estudios de adaptación y resiliencia de los ecosistemas protegidos del país.
2. Para todos los ecosistemas descritos es necesario generar información sobre carbono en suelos y vegetación, productividad primaria, descomposición, flujo de CO₂. Todos datos necesarios para hacer evaluaciones posteriores sobre las alteraciones producidas por el cambio climático.
3. A la insuficiencia de la red hidrometeorológica se le atribuyen imprecisiones que restan rigurosidad científica a la determinación de la distribución de los ecosistemas.
 - **Manifestación de efectos atribuibles al cambio climático.** Un proceso de aproximaciones sucesivas donde previamente se demostró la relación entre anomalías térmicas y salud de los corales (blanqueamiento coralino), permitió evidenciar la afectación de sistemas coralinos venezolanos por esta causa. Otro efecto demostrado fue la disminución de la pesca de sardinas. La evidencia surgió del procesamiento de bases de datos suficientes y extensas series temporales, que permitieron inferir la correlación de capturas con parámetros climáticos. Los estudios en ambos casos fueron locales. Para constatar las evidencias a escalas mayores se requiere dotar a la zona marino-costera caribeña y atlántica de redes de medición de pH y temperatura, entre otros requerimientos que permitirán completar estudios de línea base necesarios.

geodésico que se venían utilizando. Otro factor importante es el establecimiento de modernos sistemas de referencia geocéntrico-globales, entre los que podemos mencionar a SIRGAS, ITRS, WGS 84 entre otros; así como las recomendaciones de la Asociación Internacional de Geodesia IAG, de establecer marcos de referencia geocéntrico y adoptar el elipsoide de referencia GRS 80 (Geodetic Reference System 1980). Instituto Geográfico Venezolano Simón Bolívar [Información en línea] Disponible en http://www.igvsb.gob.ve/redes_geodesicas.html [Consultado el 28 de octubre de 2017]

- **Agricultura. La intuición de lo prioritario.** La investigación agrícola en el país ha venido realizándose sistemáticamente con base a los supuestos de disminución en la precipitación y aumento en la temperatura y consecuentes alteraciones en la humedad aprovechable y cambios fenológicos. En la actualidad se conocen las características y localización de los sistemas agrícolas venezolanos y se cuenta con información que permitiría predecir algunos impactos sobre los sistemas agrícolas derivados de cambios en temperatura y precipitación. La investigación en sistemas ganaderos y en el subsector forestal aún es insuficiente y no se obtuvo información relevante sobre investigaciones similares en el subsector piscícola.
- **Salud y clima.** Venezuela es un país vulnerable a cambios en la dinámica ambiente – vector – huésped. En previsión de fallas en la información oficial las instituciones académicas hacen acopio propio de datos climáticos y epidemiológicos que permiten mantener una evaluación constante del binomio clima – salud e incluso representarla espacialmente usando técnicas de información geográfica. Desde inicios de los años noventa del siglo XX se viene realizando una investigación sistemática sobre las consecuencias para la salud de alteraciones en el patrón de variabilidad climática. Un fenómeno particular de cambios en la temperatura a escala local son las *islas de calor*. Su relación con la salud está siendo objeto de investigaciones en el país. La evaluación de algunos eventos fortuitos consecuencia de extremos climáticos y vulnerabilidades de las poblaciones ha permitido constatar fallas en la compilación de estadísticas sanitarias, precariedad de los lugares de refugio, así como, de la atención preferente a grupos prioritarios vulnerables.
- **Ciudades.** Las ciudades del país son afectadas por extremos climáticos de modo directo. Es posible esperar afectaciones como fallas en los sistemas de provisión de agua potable y de eliminación de excretas o en el abastecimiento energético. El enfoque técnico sobre cómo atenderlas está disponible incluso en técnicas avanzadas como el uso de sistemas de drenaje urbano sostenibles (SUDS) o calentadores de agua termo solares, por mencionar algunos ejemplos. Las investigaciones evidencian que los problemas en el país, asociados a las áreas urbanas, apuntan a otras materias de orden institucional, de ejercicio de autoridad, de insuficiencia

financiera, de educación pública, de gestión municipal, entre otros, que acentúan los impactos físicos derivados del clima.

- **Temas transversales. Institucionalidad y educación.**
 - **Institucionalidad.** No es posible identificar una dependencia gubernamental con las responsabilidades técnicas derivadas de los compromisos internacionales del país en materia de cambio climático, como tampoco alguna dirección o coordinación de las acciones particulares de carácter nacional relativas a cambio climático, en el MINEA –la autoridad rectora de la gestión ambiental del país- o en otro ministerio o por otros organismos competentes del poder ejecutivo nacional. Tampoco se identifica una estructura de gobernanza en cambio climático de carácter nacional, estatal o municipal. Se constató que existe una agenda de trabajo legislativo concertada con instituciones académicas, sector privado y ONG en torno a la constitución de institucionalidad y marco jurídico para la administración sobre la problemática del cambio climático. Las iniciativas relativas a institucionalidad en cambio climático, a nivel municipal y del sector privado, son escasas y de carácter voluntario.
 - **Educación.** Las evidencias apuntan a fallas importantes en el conocimiento de un proceso de tanta significación para Venezuela. Ciertamente se han incorporado contenidos relacionados con el cambio climático en la educación primaria y secundaria, pero se adolece de programas de concienciación ciudadana sobre esta materia. Algunas universidades han asumido la doble tarea de formar y divulgar a través de sus funciones de docencia y extensión.

Respecto a los lineamientos y estrategias, se destacan algunos para los siguientes ámbitos:

- **Institucional.** Constituir una unidad responsable de instrumentar las acciones inherentes a los compromisos nacionales e internacionales en materia de cambio climático.
- **Institucional Local.** Constituir consejos urbanos y comités de asesores y especialistas en cambio climático en las principales ciudades del país.

- **Planificación.** Formular el Plan Nacional de Mitigación y Adaptación al Cambio Climático, establecer los grupos de trabajo y comités asesores, con un amplio proceso de participación ciudadana. El plan debe ser sometido a rigurosos procesos de evaluación para constatar su viabilidad.
- **Educación.** Posicionar el tema de cambio climático en la agenda pública nacional a través de la educación informal y no formal de modo de crear conciencia ciudadana sobre el tema. Desarrollar programas de educación superior en áreas técnicas y profesionales de pre y post grado de modo de formar el equipo humano requerido por las diversas instituciones públicas y privadas responsables el conjunto complejo y múltiple de tareas que serán requeridas para instrumentar el Plan Nacional de Mitigación y Adaptación.
- **Económico.** Impulsar la economía basada en el aprovechamiento máximo de materias primas, extensión de la vida útil de los productos, reciclaje y, eficiencia energética. Promover cambios paulatinos en el subsidio al combustible.
- **Técnico.** Mantener actualizados los inventarios GEI en función a la regularidad y metodología sugerida por el IPCC. Desarrollar e implementar una red hidrometeorológica que abarque la mayor extensión territorial e insular para el monitoreo de las cuencas hidrográficas y una red para monitoreo de variables climáticas en la zona marino – costera.
- **Internacional.** Adoptar los mandatos establecidos en la Convención Marco de las Naciones Unidas para Cambio Climático (CMNUCC), Agenda de Desarrollo Sostenible 2030 (ODS), el Foro C40, el Acuerdo de Doha y el Acuerdo de París.

En atención a los hallazgos presentados en el PRACC, y a las recomendaciones presentadas en el RRP, en cuanto a los impactos del cambio climático en sectores productivos estratégicos para la sostenibilidad del país, la Secretaria Académica de Cambio Climático (SACC-CAFIMAN), decidió que el objeto específico del III Simposio Venezolano de Cambio Climático, fuese la agricultura y, en consecuencia, la seguridad alimentaria del país. El III Simposio permitirá conocer y compilar la nueva producción de la investigación nacional en el tema de la agricultura, que será insumo para el próximo reporte académico de cambio climático de la SACC-ACFIMAN.

Con profunda humildad pero con la satisfacción del deber cumplido, la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales pone a disposición de la comunidad científica y técnica de Venezuela interesada en la gestión del cambio climático, el documento PRACC. Entregamos el testigo en la seguridad de su utilidad y con profunda convicción de la causa que nos anima y que se resume en el mandato constitucional de vivir en un ambiente sano, seguro y ecológicamente equilibrado.

Eduardo Buroz Castillo

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Eduardo Buroz Castillo', with a horizontal line underneath the name.

- Individuo de Número de la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat (ANIH)
- Individuo de Número de la Academia Nacional de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales (ACFIMAN)

AUTORES

Coordinadores líderes

- **Eduardo Buroz Castillo.** Ingeniero Agrónomo. Master en Ingeniería y Planificación de Recursos Hidráulicos. Profesor Titular. Postgrados de Ingeniería Agrícola e Ingeniería Ambiental. Universidad Central de Venezuela y Universidad Católica Andrés Bello. Gestión ambiental. Planificación de recursos hidráulicos. Estudios de impacto ambiental. Ingeniería ambiental. e-mail: eduardo.buroz@gmail.com
- **Aldo Cróquer. Biólogo.** Doctor en Ciencias Biológicas. Profesor Titular. Departamento de Estudios Ambientales. Universidad Simón Bolívar. Venezuela. Ecología de arrecifes coralinos con especial énfasis en la dinámica de enfermedades coralinas, comunidades bentónicas y la evaluación del impacto de amenazas locales y globales sobre la estructura y función de estos sistemas. e-mail: acroquer@usb.ve
- **Laura Delgado.** Biólogo. Doctora en Ciencias. Profesora. Instituto de Zoología Tropical. Facultad de Ciencias. Universidad Central de Venezuela. e-mail: lauradelga@gmail.com
- **Jesús Augusto Gómez Medina.** Ingeniero Civil. Master en Ingeniería de Recursos Hidráulicos. Consultor. Tutor tesis de grado ingeniería civil. Universidad Católica Andrés Bello. Modelos hidrológicos. Modelos de simulación hidrometeorológica. Análisis de riesgos hidrológicos. Análisis de factibilidad de energías renovables. E-mail: jagomez2009@gmail.com
- **Rafael Lairt Centeno.** Geógrafo. Doctor en Desarrollo Sostenible. Profesor. Universidad Simón Bolívar, Departamento de Estudios Ambientales, y en las universidades Central de Venezuela y Metropolitana. Planificación y gestión ambiental. Evaluación de impacto ambiental. Análisis de conflictos ambientales. Geomática. Cambio Climático. e-mail: rlairt@gmail.com
- **Alejandra Leal.** Biólogo. Doctora en Ciencias Biológicas. Profesor Asociado. Departamento de Estudios Ambientales. Universidad Simón Bolívar, Venezuela. Dinámica de comunidades de plantas. Ecología del Cuaternario. e-mail: avleal@usb.ve
- **Isabel Llatas.** Licenciada en Matemáticas. Doctor en Estadísticas. Profesor Titular Departamento de Procesos y Sistemas, Universidad Simón Bolívar. Venezuela. Estadística industrial. Confiabilidad y diseño de experimentos. Econometría y análisis de series de Tiempo. Mitigación de riesgo ante eventos extremos. e-mail: llatas@usb.ve

- **Roger Martínez.** Urbanista. Doctor en Arquitectura. Profesor Titular Jubilado. Departamento de Planificación Urbana Universidad Simón Bolívar. Servicios urbanos y planificación urbana. e-mail: rogermartinez130962@gmail.com
- **Jorge Paolini Ruiz.** Ingeniero de Sistemas. Doctor en Sostenibilidad. Profesor Asociado. Universidad Nacional Experimental de Guayana Diseño de modelos en sostenibilidad. Modelos de simulación. Estadísticas ambientales y climatología numérica. e-mail: jorge.paolini1@gmail.com
- **Franklin Paredes.** Ingeniero Agroindustrial. Doctorado en Ingeniería, mención Ambiente. Becario postdoctoral. Departamento de Ingeniería Civil Vicerrectorado de Infraestructura y Procesos Industriales (VIPI), UNELLEZ Venezuela. Hidrología e Hidráulica Fluvial. e-mail: franklinparedes75@gmail.com
- **Nila Pellegrini.** Biólogo. Doctora en Ciencias de la Educación. Profesor Titular. Departamento de Estudios Ambientales. Universidad Simón Bolívar. e-mail: pellegrini@usb.ve
- **Marelia Puche.** Ingeniero Agrónomo. Doctora en Ecología. Profesor Titular. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Modelos Agronómicos e Hidrológicos y Agroambientales. Manejo de suelos. e-mail: marelia.puche@gmail.com
- **Alicia Villamizar.** Biólogo. Doctora en Desarrollo Sostenible. Profesor Asociado. Departamento de Estudios Ambientales. Universidad Simón Bolívar. Venezuela. Ecología y manejo de manglares. Impactos, vulnerabilidad, adaptación y políticas públicas en cambio climático. e-mail: 55.alicia@gmail.com
- **Edgar Yerena.** Biólogo. Abogado. Máster en Ciencias Biológicas. Profesor. Universidad Simón Bolívar, Venezuela Política y gestión de áreas protegidas. Legislación ambiental. Ordenación del territorio. Política y gestión de la conservación. e-mail: eayerena@yahoo.com

Autores líderes

- **Ingrid Acevedo.** Ingeniero Agrónomo. Máster en Horticultura. Doctorante en Ciencias Agrícolas. Sistemas de producción hortícolas para la producción sostenible en regiones semiáridas venezolanas Profesora Asociada. Departamento de Producción Agropecuaria. Universidad Lisandro Alvarado. e-mail: ingridacevedo@ucla.edu.ve
- **Alejandro Álvarez.** Biólogo. Doctor en Ecología. Coordinador General ONG Coalición Clima21. Derechos humanos ambientales derivados de los efectos del cambio climático. Proyectos socio-

ambientales en el marco del desarrollo sostenible. Programas educativos para la concientización pública en temas ambientales. e-mail: alvareziragorry@gmail.com

- **Bibiana Bilbao.** Licenciada en Biología. Doctor en Biología. Profesor Titular. Departamento de Estudios Ambientales, Universidad Simón Bolívar. Venezuela. Ambiente, Biodiversidad, Ecología, Agricultura Sostenible, Suelos. e-mail: bibiana.bilbao@gmail.com
- **Zulma Bolívar.** Urbanista. Master en Diseño Urbano. Master Planificación Estratégica Urbana. Profesor Universidad Central de Venezuela. Planificación estratégica Gestión del desarrollo local y diseño urbano. Asesoría inmobiliaria. Políticas públicas de la administración local. e-mail: zbolivar@imutc.org
- **Ana Carvajal.** Médico. Especialista en Gerencia de Servicios de Salud Médico Cirujano. Hospital Universitario de Caracas (HUC), Venezuela. Infectología. Gerencia de Servicios de Salud. e-mail: anacarvajal09@gmail.com
- **Maribel Colmenares.** Biólogo. Máster en Ecología Tropical. Profesora Agregada. Departamento de Ambiente y Tecnología Agrícola. Experta en Botánica Sistemática. Universidad Francisco de Miranda. Santa Ana de Coro. Venezuela. e-mail: maribel.colmenaresa@gmail.com
- **Jorge Contreras.** Máster en Ciencias del Suelo. Sistemas de producción orgánicos para la recuperación de ecosistemas degradados. Profesor Agregado. Universidad Lisandro Alvarado. Departamento de Química y Suelos. Cátedra de Edafología. e-mail: jorgecontreras@ucla.edu.ve
- **Eladys Córcega.** Ingeniero Agrónomo. Máster en Ciencias del Suelo. Profesor. Universidad Central de Venezuela. Conservación de suelos y agua y manejo agronómico de cultivos tropicales. Modelos agronómicos e hidrológicos. e-mail: eladys7@gmail.com
- **Karenia Córdova.** Licenciada en Geografía. Doctora en Arquitectura. Profesor Asociado. Instituto de Geografía y Desarrollo Regional. Universidad Central de Venezuela. Ambiente y Desarrollo Sustentable. e-mail: kareniac@gmail.com
- **Antonio De Lisio.** Geógrafo. Doctor en Ciencias. Profesor Titular. Universidad Central de Venezuela. Biogeografía. Perspectiva ambiental del desarrollo. Seguridad ambiental. e-mail: delisioantonio@gmail.com
- **Shaenandhoa García.** Biólogo. Doctora en Conservación. Ecología del paisaje y conservación de la biodiversidad. Sistemas tropicales de montaña. Conservación y manejo de fauna. e-mail: Shena.GarciaRangel@unep-wcmc.org

- **Víctor García.** Ingeniero Agrónomo. Profesor Asistente. Instituto de Ingeniería Agrícola, Universidad Central de Venezuela. Ingeniería Agrícola y Ambiental. Cambio climático y el impacto sobre la agricultura. Modelos de simulación de cultivos (DSSAT). Evaluación de lluvias extremas. Sensores remotos. Agrometeorología. Planificación ambiental. e-mail: victorgarcia02@gmail.com
- **Loraine Giraud.** Urbanista. Doctora en Desarrollo Sostenible. Departamento de Planificación Urbana. Grupo de Investigación Vida Urbana y Ambiente. Universidad Simón Bolívar. Venezuela. Sostenibilidad urbana. Bioética de la ciudad sostenible. Planificación y gestión ambiental urbana. Indicadores de sostenibilidad urbana. e-mail: lorainegiraud@usb.ve
- **María Eugenia Grillet.** Biólogo. Doctora en Ecología. Profesor Titular. Laboratorio de Biología de Vectores y Parásitos. Instituto de Zoología y Ecología Tropical. Facultad de Ciencias. Universidad Central de Venezuela. Ecología de insectos vectores. Entomología Médica. Eco-epidemiología de infecciones parasitarias transmitidas por insectos. Ecología de poblaciones y comunidades de insectos. e-mail: mariaeugenia.grillet@gmail.com
- **María Gutiérrez.** Administradora. Máster en Desarrollo y Ambiente. Doctorante en Desarrollo Sostenible. Profesor. Departamento de Biología de Organismos Universidad Simón Bolívar. Venezuela. e-mail: mimogutierrez@gmail.com
- **†Manuel Henríquez.** Ingeniero. Doctor. Profesor titular. Departamento de Químicas y Suelos. Unidad de Investigación en Suelos y Nutrición Mineral de Plantas (UISNMP). Universidad Centro Occidental Lisandro Alvarado, UCLA, Barquisimeto, Venezuela.
- **Wilmer Hernández.** Máster en Ciencias del Suelo. Profesor Asistente. Cátedra de Génesis y clasificación de suelos. Departamento de Química y Suelos. Universidad Lisandro Alvarado. Manejo de sistema de información geográfica. E-mail: wilmerhz@gmail.com
- **Betty Mendoza.** Doctora Ciencias del Suelo. Profesora Titular. Departamento de Química y Suelos. Cátedra de Edafología. Universidad Lisandro Alvarado, Venezuela. Estudio de actividad biológica en ecosistemas semiáridos e-mail: bmendoza2803@gmail.com
- **José Mogollón.** Ingeniero Agrónomo. Máster en Ciencias Ambientales. Profesor Agregado. Departamento de Ambiente y Tecnología Agrícola. Unidad de Investigación en Estudios Ambientales y Biodiversidad Universidad Francisco de Miranda. Edafólogo. Desertificación y cambio climático. Uso de enmiendas para la recuperación de suelos degradados. e-mail: jmogollon15@gmail.com

- **Vilisa Morón.** Licenciada en Biología. Master en Ciencias Biológicas. Ayudante Académico. Departamento de Estudios Ambientales. Universidad Simón Bolívar. Venezuela. Conservación de la Biodiversidad. Áreas Protegidas. e-mail: vilisamoron1x@gmail.com
- **Julián Mostacero.** Biólogo. Máster en Ciencias Biológicas. Doctorante en Ciencias Biológicas. Instituto Experimental Jardín Botánico Dr. Tobías Lasser. Universidad Central de Venezuela. Venezuela. Biodiversidad Conservación, Taxonomía. E-mail: jmosta@gmail.com
- **Shingo Nozawa.** Biólogo. Doctor en Botánica. Investigador del Instituto Botánico Dr. Tobías Lasser, Universidad Central de Venezuela. Taxonomía y sistemática de gramíneas. email: s.nozawa@gmail.com
- **Erika Pedraza.** Ingeniero Forestal. Máster en Desarrollo y Ambiente. Profesor. Departamento de Estudios Ambientales. Universidad Simón Bolívar (USB). Venezuela. Planificación ambiental participativa. Ecología vegetal. Ecología humana. email: erikapedraza@usb.ve
- **José Miguel Pérez Godoy.** Ingeniero Civil. Máster en Hidrología e Hidráulica. Consultor. Desarrollo computacional de la base de datos hidrometeorológica. Modelos de predicción de caudales. e-mail: jmperezgodoy@gmail.com
- **Mercedes Pérez Macías.** Ingeniero Agrónomo. Doctor en Ciencias Agrícolas. Profesora. Departamento de Botánica Agrícola Universidad Central de Venezuela. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. Ecofisiología vegetal. Cambio climático. e-mail: maciasmercedes@yahoo.com
- **Hernardo Picón.** Ingeniero Forestal. Máster en Ecología y Conservación Tropical. Botánica, Florística, Biodiversidad. Ecología tropical. Conservación y manejo. Monitoreo ambiental. Gestión ambiental. Control de incendios forestales y manejo del fuego, Gestión de investigación. Ecología urbana. Gestión de áreas verdes urbanas. Manejo de cuencas. e-mail: gabrielpicon@yahoo.com
- **Rafael Rebolledo.** Ingeniero Civil. Doctor en Desarrollo Sostenible. Programa de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería. Universidad Militar Nueva Granada. Colombia / Universidad Simón Bolívar. Venezuela. e-mail: rebolledo.wueffer@gmail.com
- **Wilder Rivas.** Ingeniero Forestal. Máster en Gestión de Recursos Naturales Renovables y Medio Ambiente. Profesor Agregado. Unidad de Investigación en Estudios Ambientales y Biodiversidad. Departamento de Ambiente y Tecnología Agrícola. Universidad Francisco de Miranda. Santa Ana de Coro. Venezuela Experto en Sistemas de Información Geográfica. e-mail: wrivas@yahoo.com

- **Roberto Rivera.** Geógrafo. Doctor en Percepción Remota. Investigador. Instituto de Geografía y Desarrollo Regional. Universidad Central de Venezuela. Sistemas de información geográfica, percepción remota e incendios forestales y emisiones atmosféricas. e-mail: robertoriveralombardi@gmail.com
- **Davna Rodríguez.** Ingeniero Químico. Máster en Desarrollo y Ambiente. Doctorante en Desarrollo Sostenible. Profesor. Departamento de Tecnología Industrial. Universidad Simón Bolívar. Venezuela. Química atmosférica. Ruido ambiental. Energías renovables. e-mail: rdavna@gmail.com
- **María Rondón.** Biólogo. Máster en Manejo y Conservación de Fauna Silvestre. Profesora Agregada. Departamento de Ambiente y Tecnología Agrícola. Universidad Francisco de Miranda. Santa Ana de Coro. Venezuela. Manejo y Conservación de Fauna Silvestre. e-mail: mmedicci@gmail.com
- **Andrés Sajo.** Matemático. Doctor en Matemáticas. Numerical Algorithms Group (NAG). Reino Unido. Estadística aplicada y computacional. e-mail: talassio@gmail.com
- **Juan Carlos Sánchez.** Ingeniero Industrial. Doctor en Ingeniería. Profesor. Facultad de Ingeniería. Universidad Central de Venezuela. Consultor. Asesor. Gestión y tratamiento de agua. Planificación y programas ambientales. Cambio climático. e-mail: sanchezjsx@gmail.com
- **Oscar Silva.** Ingeniero Agrónomo. Máster en Ciencias del Suelo. Profesor Agregado. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Conservación de suelos y agua, evaluación de cuencas hidrográficas y simulación agroambiental. Evaluación del rendimiento de agua en cuencas venezolanas. Ecohidrología de bosques secos. e-mail: oscarsilvae@gmail.com
- **Dirk Thielen.** Licenciado en Ciencias. Doctor en Ecología Tropical. Investigador. Laboratorio de Ecología del Paisaje y Clima. Centro de Ecología, Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas. Venezuela. Efectos del cambio climático y de los usos de la tierra en la dinámica espacio-temporal de los ecosistemas terrestres. e-mail: dirkthielen@gmail.com
- **Duilio Torres.** Máster en Ciencias del suelo. Doctorante en Ciencias del suelo. Profesor Asociado. Cátedra Conservación de los recursos naturales. Departamento de Química y Suelos. Universidad Lisandro Alvarado. Selección de indicadores para la evaluación de la calidad de suelos en regiones semiáridas. e-mail: duiliotorres@ucla.edu.ve
- **Estrella Villamizar.** Biólogo. Doctora en Biología. Profesor asociado. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ciencias. Instituto de Zoología y Ecología Tropical. Venezuela. Docente e

investigador en Ecología y Conservación de Ecosistemas Marino-Costeros. e-mail: estrellavillamizar@yahoo.com

- **Isandra Villegas.** Ingeniero Civil. Doctora en Desarrollo Sostenible. Movilidad (vialidad, tránsito, transporte). Desarrollo de sistema de transporte sostenible y pobreza. Planificación y construcción de sistemas viales a nivel urbano y regional. e-mail: isandravillegas@gmail.com

Autores contribuyentes

- **Luis Araya.** Ingeniero en Minas. Doctorante en Ingeniería. Profesor Asociado. Universidad de Oriente. Venezuela. Matemática Aplicada. e-mail: le.araya@udo.edu.ve
- **María Beatriz Barreto.** Biólogo. Doctora en Ecología. Profesor Asistente. Instituto de Zoología y Ecología Tropical Facultad de Ciencias. Universidad Central de Venezuela. Ecología y manejo de manglares. Análisis espacio temporal de ambientes de manglar. E-mail: mangle_mbbp@yahoo.com
- **Sandra Giner.** Bióloga. Doctora en Ciencias. Profesor Agregado. Instituto de Zoología y Ecología Tropical. Centro Museo de Biología UCV. Universidad Central de Venezuela. Biología y Ecología de aves acuáticas de humedales costeros. e-mail: sandrabginer@gmail.com
- **Hedelvy Guada.** Biólogo. Máster en Ciencias Biológicas. Profesor Asistente. Instituto de Zoología y Ecología Tropical. Facultad de Ciencias. Universidad Central de Venezuela. Biología y conservación de tortugas marinas. Planificación de la conservación en tortugas marinas. Capacitación en técnicas de seguimiento y conservación de tortugas marinas y especies amenazadas. Conservación de especies amenazadas. Áreas protegidas. Participación comunitaria. e-mail: hjguada@gmail.com
- **Pedro Ovalles.** Licenciado en Matemáticas. Máster en Matemáticas. Profesor Asociado. Universidad Simón Bolívar. Venezuela. Estadística descriptiva para datos multivariados. Análisis componentes principales. e-mail: povallesgarcia@gmail.com
- **Fernando Sánchez-Orellana.** Geógrafo. Máster en Geografía Física. Universidad Pedagógica Experimental Libertador. Venezuela. Geografía física. e-mail: fernando.sanchez.270488@gmail.com
- **Desireé Villalta.** Matemático. Máster en Estadística. Doctorante en Ingeniería. Profesor. Departamento de Cómputo Científico y Estadística. Universidad Simón Bolívar. Venezuela. Estadística aplicada. e-mail: dvillalta@usb.ve

- **Anaurora Yranzo.** Máster en Ciencias Biológicas. Investigadora en ciencias básicas, naturales y aplicadas. Instituto de Zoología y Ecología Tropical. Facultad de Ciencias. Universidad Central de Venezuela. Ecología de ambientes marinos. Monitoreo de comunidades bentónicas arrecifales. Taxonomía y Ecología de octocorales y esponjas marinas. Prácticas de conservación de moluscos marinos. e-mail: anayranzo@gmail.com
- **Eduardo Zambrano.** TSU en Química. Instituto Universitario de Tecnología (IUTE). Adscrito al Laboratorio de Ecología y Suelos. Departamento de Estudios Ambientales. Universidad Simón Bolívar (USB). Venezuela. Química de suelos. e-mail: zambrano.eduardo@gmail.com

Autores revisores

- **Lelys Bravo.** Matemático. Doctora en Estadística. Profesora. Universidad Simón Bolívar. Estadísticas climáticas. Análisis de datos climáticos. Modelado hidráulico. Estadísticas espaciales. e-mail: lelysbbravo@gmail.com
- **María Figueroa.** Planificación Urbana, USB. Investigador Asociado en el Departamento de Política y Negocios Escuela de Negocios Copenhagen, Denmark. e-mail: mf.dbp@cbs.dk

Equipo de Apoyo Técnico

- **Betina Ayala.** Ing. Agrónomo. Máster en Ingeniería Sanitaria. Consultor. Auditorías ambientales. Gerencia de proyectos ambientales para la industria petrolera, del gas, turística e inmobiliaria. Estudios de Impacto Ambiental. Relación con entes gubernamentales y privados. Supervisión ambiental. e-mail: betina.ayala@gmail.com
- **Yaranelly Méndez.** Geógrafo. Educadora en Ciencias Sociales. Doctorante en Desarrollo Sostenible. Análisis y ordenación del territorio. Evaluación de Impacto Ambiental. Meteorología y climatología. Sistemas de información geográfica. Análisis del medio físico. e-mail: glaciscoluvial@hotmail.com
- **Laxmi Rodríguez.** Geoquímico. Máster en Desarrollo y Ambiente. Orgánica ambiental. hidrogeoquímica. Geología. Análisis instrumental. Remediación ambiental. Suelos. e-mail: laxmindra@gmail.com

ANEXO 1

DECLARACIÓN DE CARACAS



**ACADEMIA DE CIENCIAS
FÍSICAS, MATEMÁTICAS
Y NATURALES**

La Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales, en atención a lo dispuesto en los literales f y j del artículo 4 de su ley de creación y al contenido del artículo 2 de su reglamento, expresa que los eventos recientes de trascendencia global, como el agotamiento del presupuesto anual de renovación de la Tierra a solo 7 meses y 20 días de transcurrido el presente año 2013; la superación del umbral de las 400 partes por millón respecto a la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera, en septiembre de este año, y los acuerdos alcanzados durante la realización de la Conferencia de las Partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, la COP 19, durante la 2da semana de Noviembre del año en curso, son en su conjunto, señales inequívocas de que todas las naciones, sin excepción, deben asumir de forma concreta y lo antes posible, medidas para contrarrestar los efectos adversos y costosos que está imponiendo el Cambio Climático.

Así mismo, la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales de Venezuela ha procurado la participación de la comunidad científica nacional en el **I Simposio Nacional en Cambio Climático: Perspectivas para Venezuela**, organizado bajo sus auspicios y los de la Academia de Ciencias de los Estados Unidos de Norteamérica. Este evento celebrado en Caracas los días 28 y 29 de Noviembre del 2013, ha contado con el concurso de numerosos miembros activos de la comunidad científica, que desde la óptica de diversas áreas del conocimiento y disciplinas, atienden múltiples temas inherentes al cambio climático. Al concretar los resultados del evento en la Declaración de Caracas invita a los participantes del mismo a suscribirla.

ANEXO 2

DECLARACIÓN DE MÉRIDA



Los participantes del *II Simposio Venezolano sobre Cambio Climático*, miembros de la comunidad académica, sociedad civil organizada y representantes de entes gubernamentales, reunidos en Mérida del 15 al 18 de noviembre de 2016, con el objetivo de presentar y discutir las más recientes investigaciones, proyectos y consideraciones socio-políticas en relación al cambio climático en Venezuela:

Reconociendo que

1. El Acuerdo de París entró en efecto el 4 de Noviembre 2016. Es el resultado de décadas de negociación en el seno de la Organización de Naciones Unidas sobre el calentamiento global. Todos los países del mundo reconocen que el cambio climático es una realidad y que es indudable que la actividad humana como factor generador de este cambio se ha convertido en una peligrosa y creciente amenaza tanto para la estabilidad de la vida en el planeta como para la seguridad de la especie humana.
2. El objetivo central del Acuerdo de París es impedir que el aumento de la temperatura superficial promedio supere los 2°C para finales de siglo con respecto a la época preindustrial. Para alcanzar este objetivo es imprescindible evitar que continúe aumentando la concentración de los principales gases de efecto invernadero en la atmósfera.
3. Diversos trabajos científicos y técnicos presentados en el I Simposio Nacional en Cambio Climático, conllevaron a la Declaración de Caracas, que constituye el primer documento de trabajo y compromiso en aplicar los principios, recomendaciones y metas explicadas en este evento.
4. La multiplicidad de trabajos presentados en el *II Simposio Venezolano sobre Cambio Climático* ejemplifica no solo la variedad y complejidad de los impactos del calentamiento global sobre el país, sino también el valioso reservorio de recursos humanos disponibles para superar los retos señalados y las oportunidades para mejorar sustancialmente la contribución de Venezuela al Acuerdo de París.
5. El *II Simposio Venezolano sobre Cambio Climático* honra la memoria del Prof. Rigoberto Andressen, pionero en el estudio y docencia del cambio climático en Venezuela, quién formó parte del Panel Intergubernamental sobre

Cambio Climático(IPCC) de las Naciones Unidas; organismo que recibiera el premio Nobel de la Paz en el año 2007.

6. Teniendo como premisa el lema: “Ciencia y gestión; desafíos ante los cambios globales”, presentamos la “Declaración de Mérida frente al Cambio Climático” que recoge las investigaciones, proyectos de adaptación y las vías estratégicas para la mitigación del cambio climático.

Cumplimos el objetivo

El *II Simposio Venezolano sobre Cambio Climático* propició un espacio de interacción de los diversos actores, para evaluar las relaciones entre la ciencia y la política con el cambio climático y su integración en los procesos de toma de decisión del sector público y privado en Venezuela, sirviendo de plataforma para consolidar la colaboración y el intercambio de experiencias entre la academia, la sociedad civil, el sector privado y la gestión pública regional y nacional. Todo ello orientado a la generación de propuestas que permitan alcanzar soluciones para esta problemática.

Considerando los múltiples aportes generados de este simposio y que se resumen y anexan a esta declaración en los temas de

1. *Bases científicas del cambio del clima*
2. *Impactos y riesgos del cambio climático*
3. *Mecanismos de adaptación y mitigación al cambio climático*
4. *Sociopolítica del cambio climático*

Exhortamos en el tema de los estudios sobre el cambio climático:

- A las Universidades del país, Institutos de Investigación, Institutos de Desarrollo Tecnológico, y a las Academias, a incrementar y fomentar la capacitación en el tema ambiental y del cambio climático, y a considerar el mismo como aspecto transversal de la *Curricula* educativa. Consideramos que las universidades venezolanas y los institutos de investigación han desempeñado un papel fundamental en orientar muchas de sus investigaciones a conocer y cuantificar los aspectos del clima y de cómo este ha cambiado en las diferentes escalas de tiempo.

- Al Gobierno Nacional, Regional y Local a implementar programas de financiamiento para las investigaciones científicas, tecnológicas, de innovación y socialización en el tema del Cambio Climático.

- Al Ministerio del Poder Popular para el Ecosocialismo y Agua a considerar la inclusión en la Segunda Comunicación Nacional sobre Cambio Climático de Venezuela, parte o totalidad de los resultados expuestos en los muchos eventos científicos propiciados desde la Academia venezolana, como los Simposios Venezolanos sobre Cambio Climático, y los reportes de la Secretaría Académica de Cambio Climático de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales. Desde la ACFIMAN se han

realizados esfuerzos por sintetizar un gran volumen de información, requerida para poder entender y planificar las mejores acciones ante el cambio que nos afecta.

Exhortamos en el tema de adaptación a los posibles impactos:

- A los entes gubernamentales responsables de la planificación y ordenamiento del territorio en todos sus niveles a incorporar en los análisis, estudios y políticas asociados al riesgo de las comunidades más vulnerables, el tema del cambio climático, como factor amplificador de la intensidad de los desastres. Considerar la necesidad de generar políticas para adaptar a las comunidades frente a estos riesgos.

- A las Universidades del país, Institutos de Investigación, Institutos de Desarrollo Tecnológico, y a las Academias, a continuar estimulando y propiciando estudios que evalúen el impacto del cambio climático sobre las comunidades más vulnerables. Así como, generar con el mayor detalle espacial posible, los escenarios de cambio climático en el país.

- A las Universidades del país, Institutos de Investigación, Institutos de Desarrollo Tecnológico, las Academias, la sociedad civil organizada y representada en las diversas Organizaciones No Gubernamentales (ONG), y empresas públicas y privadas a articular redes de trabajo que permitan concretar eficientes procesos de transferencia y socialización de la ciencia y tecnología, para la planificación y ejecución de proyectos de adaptabilidad al cambio climático, en un marco de derechos humanos.

- Al gobierno nacional, y empresas públicas y privadas, a incrementar esfuerzos y recursos para la ejecución de proyectos de adaptación en comunidades rurales y urbanas susceptibles al cambio climático. Fomentar los programas de divulgación, sensibilización, transferencia tecnológica y resiliencia de las comunidades. Se requiere, no solo de la generación de políticas y estrategias de adaptación, sino que las mismas estén bien planificadas, donde los aspectos de involucramiento de las comunidades en el desarrollo de las mismas esté consolidado y exista un continuo proceso de monitoreo.

- Al los entes gubernamentales en todos sus niveles de acción y a la sociedad civil engendrar una estrategia complementaria para la educación y la disseminación de información con el fin de facilitar e incentivar la participación protagónica de la ciudadanía en tales esfuerzos.

Exhortamos en el tema de mitigación:

- Al Gobierno Nacional a generar políticas que conlleven a la eliminación de innecesarios subsidios de los combustibles fósiles, que conlleva a un despilfarro energético, aunado al alto consumo de energía eléctrica.

- Al Gobierno Nacional a implementar una diversificación efectiva de la economía nacional y la definición de una estrategia para superar los retos del calentamiento global, optimizando los esfuerzos para el

monitoreo y la reducción de emisiones, la mitigación de sus efectos y la adaptación a las inevitables consecuencias de los cambios climáticos que se avecinan.

- Al gobierno nacional, a impulsar medidas conjuntas con otros países de Latinoamérica sobre esta materia, a través de los mecanismos disponibles de integración, tales como CELAC, MERCOSUR, UNASUR y CEPAL.

- Al Gobierno Nacional en la generación de políticas para acceder a los mecanismos de compensación como los REDD+, incluir estrategias de manejo forestal diversificado, y programas de restauración.

- A los entes gubernamentales en todos sus niveles y las empresas públicas y privadas a implementar políticas y mecanismos de financiamiento que contribuyan con la sustitución de energía primaria de origen fósil por renovables.

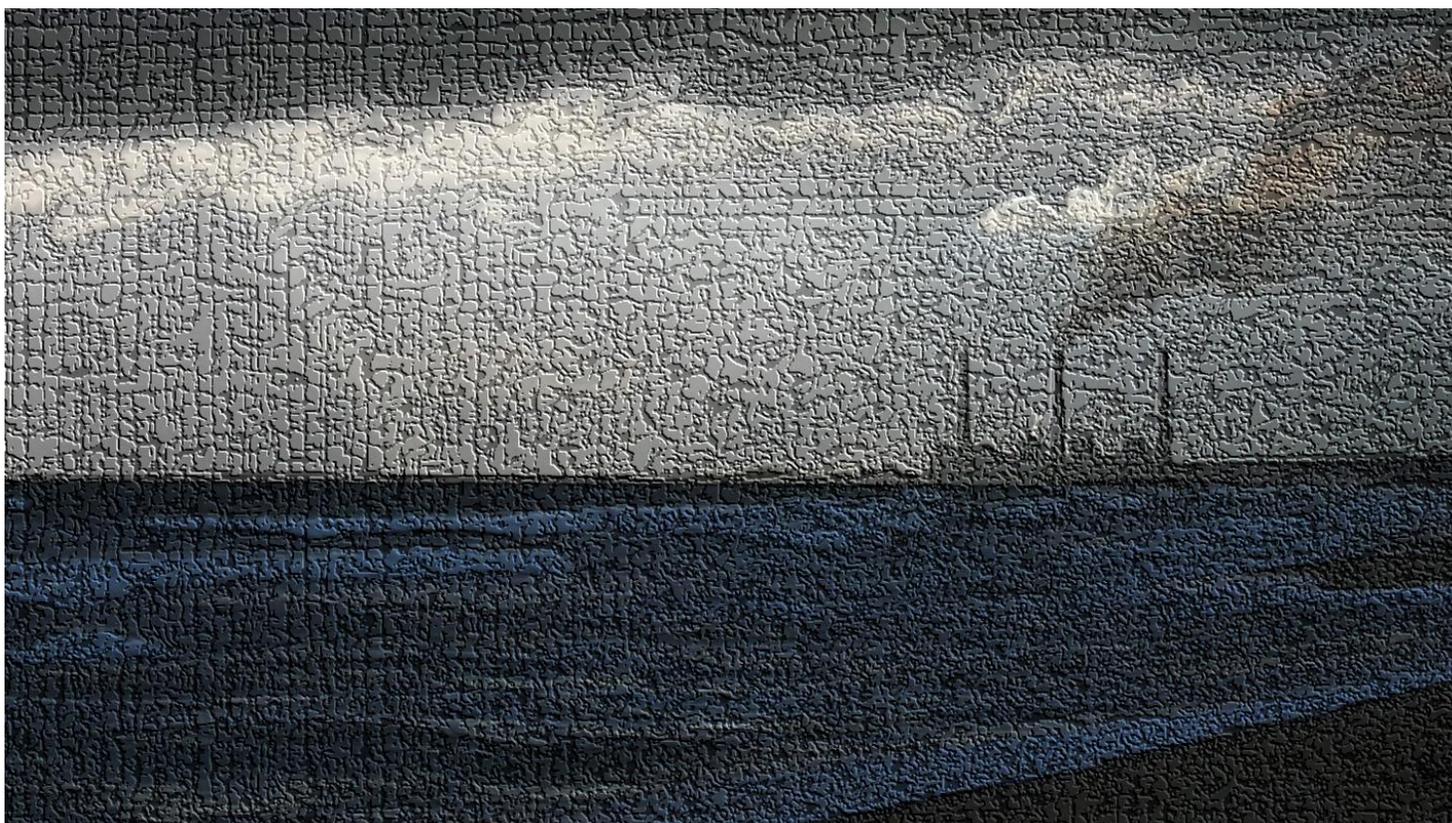
- A toda la ciudadanía, a iniciar un profundo análisis y discusión del tema de descarbonización, que implica la eliminación de los combustibles de origen fósil (carbón, petróleo y gas) de la matriz energética mundial, y la sustitución por energías alternativas no contaminantes. Todo esto a la luz de la marcada dependencia de una economía petrolera rentista.

Concluimos exhortando

A los entes gubernamentales en todos sus niveles, las Universidades del país, Institutos de Investigación, Institutos de Desarrollo Tecnológico, las Academias, la sociedad civil organizada y representada en las diversas Organizaciones No Gubernamentales (ONG), y las empresas públicas y privadas, a impulsar la creación del “Consejo Nacional sobre Cambio Climático (CNCC)” integrado por miembros del sector académico, gubernamental, sociedad civil y empresarial de Venezuela. Este Consejo Nacional tendrá entre sus funciones: a) asesorar a los entes gubernamentales en la generación de políticas sobre el cambio climático, b) colaborar y asesorar al ente gubernamental en la planificación y elaboración de la estrategia nacional sobre cambio climático, c) asesorar a la Asamblea Nacional y demás entes legislativos del país, en la elaboración de leyes y reglamentos en la materia, d) generar directrices para abordar el problema del cambio climático, y e) articular redes de comunicación y diálogo entre los diferentes actores involucrados en el tema de cambio climático.

*Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad de Los Andes, en la ciudad de Mérida,
a los dieciocho días del mes de noviembre de dos mil dieciséis.*

El "Primer Reporte Académico de Cambio Climático de Venezuela (PRACC)" es el primer reporte de la Secretaría Académica de Cambio Climático (SACC), adscrita a la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales (ACFIMAN) del país. La SACC fue establecida en julio del 2012, en el seno de la Comisión de Ambiente de la ACFIMAN, con el mandato de elaborar un documento que reflejara el estatus del conocimiento actual sobre el tema del cambio climático en el país. El PRACC fué preparado por un nutrido grupo de autores venezolanos expertos en diversas áreas del conocimiento y pertenecientes a instituciones académicas, de gobierno y de la sociedad civil organizada, vinculados al clima y al cambio climático, convocados por la ACFIMAN. El PRACC está organizado en tres partes, dedicadas respectivamente, a la ciencia del cambio climático (Grupo de Trabajo I), a los impactos, la vulnerabilidad y la adaptación (Grupo de Trabajo II), y a la mitigación (Grupo de Trabajo III). El PRACC documenta el estado del conocimiento del cambio climático en el país, con la finalidad de proveer a la sociedad venezolana de la más actualizada información científica, técnica y socioeconómica relacionada con este problema, recuperada de bases de datos y documentación en físico accesible. El reporte revela, no sólo evidencias claras sobre efectos presentes del cambio climático en el país, sino que también presenta evidencias de que los impactos del cambio climático involucran y efectan a un número diverso de factores (climáticos y no climáticos), que, bajo los escenarios de cambio climático para Venezuela, suman nuevas dimensiones y complicaciones.



**ACADEMIA DE CIENCIAS
FÍSICAS, MATEMÁTICAS
Y NATURALES**

La Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales (Acfiman) es una corporación científica de carácter público destinada a impulsar los adelantos en las ciencias. La Academia está integrada por 30 Individuos de Número, 20 Miembros Correspondientes Nacionales y 30 Miembros Correspondientes Extranjeros, todos ellos representan las diversas disciplinas sobre las cuales trabaja la Academia.



El Centro para la Innovación, el Desarrollo Tecnológico y del Conocimiento en Ingeniería (CENTRO CITECI) es una organización creada en función de incentivar procesos de generación y aprovechamiento social del conocimiento, de innovación y desarrollo tecnológico en el país.

ISBN: 978-980-6195-56-1



9 789806 195561