



UNIVERSIDAD SIMÓN BOLÍVAR
DECANATO DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
COORDINACIÓN DE POSTGRADO EN DESARROLLO Y AMBIENTE
DOCTORADO EN DESARROLLO SOSTENIBLE

TESIS DOCTORAL

**METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE
CLIMATIZACIÓN EN EL MARCO DE LA SOSTENIBILIDAD**

Por

Ernesto Lorenzo Romero

Febrero, 2017



UNIVERSIDAD SIMÓN BOLÍVAR
DECANATO DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
COORDINACIÓN DE POSTGRADO EN DESARROLLO Y AMBIENTE
DOCTORADO EN DESARROLLO SOSTENIBLE

**METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE
CLIMATIZACIÓN EN EL MARCO DE LA SOSTENIBILIDAD**

Tesis Doctoral presentada a la Universidad Simón Bolívar por

Ernesto Lorenzo Romero

Como requisito parcial para optar al grado académico de

Doctor en Desarrollo Sostenible

Con la asesoría de la Doctora

Prof. María Elena Hobaica

Febrero, 2017



UNIVERSIDAD SIMÓN BOLÍVAR
VICERECTORADO ACADÉMICO
DECANATO DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
Coordinación de Desarrollo y Ambiente

ACTA-VEREDICTO

Quienes suscribimos, los profesores: Dra. Rosa María Chacón (Universidad Simón Bolívar), Presidente, Cédula de Identidad N° 3.296.520; Dr. Alfredo Cilento, (Universidad Central de Venezuela), Principal Externo, Cédula de Identidad N° 993.406; Dr. Domingo Acosta, (Universidad Central de Venezuela), Principal Externo, Cédula de Identidad N° 4.088.108; Dra. Nila Pellegrini, (Universidad Simón Bolívar), Principal Interno, Cédula de Identidad N° 5.113.653 y Dra. María Elena Hobaica, (Universidad Central de Venezuela), Tutor de la Tesis Doctoral, Cédula de Identidad N° 3.186.384; miembros del Jurado Examinador designado por el Decano de Estudios de Postgrado de la Universidad Simón Bolívar para considerar y evaluar la Tesis Doctoral intitulada **METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE CLIMATIZACIÓN EN EL MARCO DE LA SOSTENIBILIDAD**, presentada para optar al grado académico de **DOCTOR EN DESARROLLO SOSTENIBLE** por el estudiante Ernesto Lorenzo Romero, Cédula de Identidad N° 15.487.108 y Carné de la Universidad Simón Bolívar N° 09-87434, dejamos constancia de lo siguiente: Leída la Tesis Doctoral por cada uno de los suscritos, procedimos a constituirnos formalmente en jurado el día 08 de mayo de 2017 para evaluar su contenido, de acuerdo a lo previsto en las *Normas y procedimientos para la elaboración y evaluación de la Tesis Doctoral*. Se le otorgaron al estudiante 60 días calendario para que efectuara las modificaciones sugeridas por el jurado bajo la supervisión de su Tutor, la profesora Dra. María Elena Hobaica. Una vez realizadas las modificaciones por el estudiante, a satisfacción del jurado, éste convino en convocar la Defensa oral y pública para el día 01 de junio de 2017 a las 9:00 a.m. en el salón 125, ubicado en el edificio de Mecánica y Estudios Urbanos, Universidad Simón Bolívar. Sede de Sartenejas.

Reunidos en acto público, el jurado y el candidato en la fecha, hora y lugar previstos, se procedió a la Defensa Oral de la Tesis Doctoral, la cual se llevó a cabo bajo las siguientes pautas: exposición oral por parte del candidato a Doctor, preguntas y comentarios por parte del jurado sobre diversos aspectos conceptuales y metodológicos relacionados con la línea de investigación del estudio, así como sus resultados, conclusiones e implicaciones.

Acto seguido, los miembros del jurado procedimos a deliberar en privado para formular un juicio sobre la tesis y su defensa, y apoyándonos en las siguientes razones:

1. Se considera que el tema de estudio es pertinente para el área de la arquitectura y la construcción sostenible.
2. Uso de una metodología rigurosa y exhaustiva con enorme potencial para la aplicación práctica.
3. Manejo adecuado de antecedentes y referencias que reflejan un proceso investigativo riguroso con respecto a principios éticos académicos, en toda la fase de investigación.

Emitimos de manera unánime el presente veredicto de **APROBADO CON MENCIÓN SOBRESALIENTE** de la Tesis Doctoral sometida a nuestra consideración.

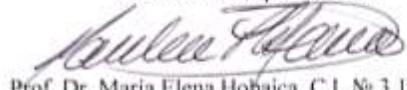
En fe de todo lo cual, levantamos y firmamos la presente Acta-Veredicto en el Valle de Sartenejas, Caracas, a los 01 días del mes de junio del año dos mil diez y siete.


Prof. Dr. Alfredo Cilento, C.I. N° 993.406
Universidad Central de Venezuela
Miembro Principal Externo


Prof. Dra. Nila Pellegrini, C.I. N° 5.113.653
Universidad Simón Bolívar
Miembro Principal Interno


Prof. Dra. Rosa María Chacón, C.I. N° 3.296.520
Universidad Simón Bolívar
Presidente


Prof. Dr. Domingo Acosta, C.I. N° 4.088.108
Universidad Central de Venezuela
Miembro Principal Externo


Prof. Dr. María Elena Hobaica, C.I. N° 3.186.384
Universidad Central de Venezuela
Miembro Principal Externo
(Tutor)

DEDICATORIA

*A mi hija Mabel del Valle, por haber llenado de bendiciones mi vida desde su llegada
hace siete meses.*

Te amo mi preciosa princesita.

AGRADECIMIENTOS

A todos los que de una u otra forma me apoyaron para que esta tesis fuera posible. La lista es larga y por eso no creo poder mencionarlos a todos. Sin embargo siempre estarán en mi corazón por estar ahí.

A la Prof. Hobaica y al Prof. Cilento un agradecimiento especial por todo el apoyo incondicional. Siempre les estaré agradecido por la ayuda.

Finalmente, a la profesora Sandra Ornés por su gran apoyo y paciencia.

A todos muchísimas gracias.



UNIVERSIDAD SIMÓN BOLÍVAR
DECANATO DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
COORDINACIÓN DE POSTGRADO EN DESARROLLO Y AMBIENTE
DOCTORADO EN DESARROLLO SOSTENIBLE

**METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE
CLIMATIZACIÓN EN EL MARCO DE LA SOSTENIBILIDAD**

Por: Ernesto Lorenzo Romero
Carnet N°: 09-87434
Tutor: Dra. María Elena Hobaica

RESUMEN

El concepto de sostenibilidad deriva de la necesidad de lograr en todas las actividades humanas un equilibrio a nivel social, ambiental y económico. En este sentido las edificaciones se consideran un sector determinante al ser responsables de numerosos impactos a lo largo de su ciclo de vida, siendo el equipamiento requerido para la climatización, una de las áreas de mayor interés por su repercusión en el consumo energético y emisiones de CO₂. Sin embargo, luego de una revisión sistemática de la documentación científica disponible, se identificó un vacío en cuanto a la evaluación de los sistemas de climatización en fases previas a la construcción de edificaciones (anteproyecto y proyecto), por lo que la tesis pretende contribuir en esta área, mediante el desarrollo de una metodología para la evaluación de proyectos de climatización de edificaciones en el marco de la sostenibilidad, fundamentada ésta en la conceptualización y diseño de un modelo integrado de indicadores. Entre los aportes destaca el desarrollo de una metodología para la identificación, priorización y selección de indicadores, cuya aplicación permitió la obtención de 21 indicadores clave distribuidos equitativamente entre cada uno de los pilares del desarrollo sostenible (Ambiental, social, económico), desarrollando posteriormente un modelo para su análisis, utilizando el algoritmo PRES como método multicriterio para la comparación de alternativas en un caso de estudio seleccionado dentro del contexto venezolano, obteniendo así la valoración de las distintas alternativas estudiadas frente a los criterios de sostenibilidad. Finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones del trabajo, con la perspectiva de que pudiese convertirse en referencia para otras áreas o tipologías de proyectos.

Palabras clave: Climatización, Sostenibilidad, Evaluación, Indicadores, Edificaciones.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	III
ÍNDICE GENERAL	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
ÍNDICE DE TABLAS	XVI
LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS	XXIII
INTRODUCCIÓN	1

CAPITULO 1. PROBLEMÁTICA DE LA CLIMATIZACIÓN DE EDIFICACIONES 6

1.1.- Contexto energético mundial	6
1.2.- Cambio climático por efecto invernadero.....	11
1.3.- Consumo de energía y su impacto ambiental.	16
1.4.- Las edificaciones frente al consumo energético y el cambio climático.	20
1.5.- Climatización de edificaciones como elemento fundamental.	30
1.6.- La sostenibilidad como aspecto sociopolítico y la necesidad de avanzar en su evaluación y medición.	34
1.7.- Antecedentes en la evaluación de sistemas de climatización en el marco de la sostenibilidad.....	38
1.8.- Avances en la evaluación de nuevas tecnologías a nivel institucional y en el marco de la sostenibilidad.	41
1.9.- Objetivos de la investigación	43
1.9.1.- Objetivo general.	43
1.9.2.- Objetivos específicos.....	43
1.10.- Síntesis del capítulo.....	45

CAPITULO 2. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL..... 46

2.1.- El paradigma del desarrollo sostenible.	46
2.2.- La arquitectura sostenible como respuesta ética en el campo de la construcción.	53
2.2.1.- El problema ético en el ejercicio de la arquitectura.....	56
2.2.2.- La responsabilidad del arquitecto ético.	59
2.3.- La sostenibilidad y el marco normativo en el sector de las edificaciones.	60
2.4.- La arquitectura sostenible y su evaluación.	63

2.5.- Los indicadores como elementos clave para la evaluación de la sostenibilidad.	65
2.6.- Problemática de los sistemas de evaluación basados en indicadores.	67
2.7.- Métodos de integración de criterios para la valoración final de indicadores de sostenibilidad.	68
2.8.- Síntesis del capítulo.	74
CAPITULO 3. MARCO METODOLÓGICO	75
3.1.- Fundamentación Epistemológica - Ontológica.	76
3.2.- Diseño y método de la investigación	79
3.3.- Propuesta Metodológica	80
3.3.1.- Fase I: Identificación, priorización y selección de criterios	82
3.3.2.- Fase II: Validación del sistema de indicadores	89
3.4.- Síntesis del capítulo.	94
CAPITULO 4. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN PROPUESTA	95
4.4.- Identificación de indicadores de sostenibilidad.	95
4.4.1.- Técnica 1: Revisión de Documentación.	95
4.4.2.- Técnica 2: Recopilación de información.	105
4.4.3.- Técnica 3: Análisis de tecnologías de climatización.	114
4.4.4.- Técnica 4: Estudio de otras áreas y herramientas.	117
4.5.- Clasificación y priorización de los resultados.	120
4.6.- Análisis y evaluación del sistema de indicadores.	129
4.7.- Síntesis del capítulo.	134
CAPITULO 5. CASO DE ESTUDIO. APLICACIÓN EN EL CONTEXTO VENEZOLANO	135
5.1.- Descripción del caso de estudio.	136
5.2.- Aplicación de indicadores ambientales	139
5.2.1.- Emisiones de CO ₂ .	139
5.2.2.- Materiales y/o sustancias peligrosas.	140
5.2.3.- Huella Ecológica.	141
5.2.4.- Consumo de materiales	142

5.2.5.- Uso de energías renovables	143
5.2.6.- Generación de residuos	143
5.2.7.- Consumo de agua	144
5.3.- Aplicación de indicadores sociales	145
5.3.1.- Confort higrotérmico	145
5.3.2.- Seguridad y salud.....	147
5.3.3.- Calidad del aire interior.....	148
5.3.4.- Confort acústico.....	149
5.3.5.- Participación y control	150
5.3.6.- Respeto al patrimonio histórico y cultural.....	151
5.3.7.- Responsabilidad social.....	152
5.4.- Aplicación de indicadores económicos	153
5.4.1.- Consumo de energía en ciclo de vida	153
5.4.2.- Transporte	153
5.4.3.- Costo del ciclo de vida	154
5.4.4.- Acreditación / Certificación de calidad	155
5.4.5.- Vulnerabilidad ante desastres naturales	156
5.4.6.- Vulnerabilidad ante el cambio climático	156
5.4.7.- Previsión para la deconstrucción	157
5.3.- Resultados	158
CAPITULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	164
6.1.- Respecto a la metodología propuesta	164
6.2.- Respecto al caso de estudio.....	166
6.3.- Respecto a los objetivos alcanzados.....	169
6.4.- Respecto a líneas de investigación futuras.....	171
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	173
ANEXO N° 1 - MODELO DE ENCUESTA.....	191
ANEXO N° 2 – ANÁLISIS DE TECNOLOGÍAS DE CLIMATIZACIÓN.....	197
ANEXO N° 3 – MATRIZ AHP COMPLETA.....	207
ANEXO N° 4 - ENERGÍA Y EMISIONES DE CO2.....	212
ANEXO N° 5 – CALCULO DE HUELLA ECOLÓGICA	215
ANEXO N° 6 – ESTRUCTURA DE COSTOS CV	224

ANEXO N° 7 – MATRICES DE DOMINACIÓN POR PILARES E INDICADORES	230
ANEXO N° 8 – DETALLES CONSTRUCTIVOS.....	231

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1 evolución de la demanda de energía primaria y sus fuentes de producción. Fuente: (Smil, 2010).....	7
Figura N° 2 Consumo de energía mundial con escenarios de los años 2030 y 2050 y sus fuentes de producción. Fuente: Shell Global Scenarios to 2050 (2008).	8
Figura N° 3.- Perspectiva del crecimiento de la demanda mundial de energía primaria para el año 2035. Fuente: World Energy Outlook 2011 (IEA, 2011).....	9
Figura N° 4.- combustibles y fuentes de energía para la generación eléctrica mundial 2005-2015. Fuente: World Energy Outlook 2008 (IEA, 2008).....	10
Figura N° 5.- Demanda de energía eléctrica mundial 2015-2030. Fuente: World Energy Outlook 2008 (IEA, 2008).....	10
Figura N° 6.- Esquema del efecto invernadero en la tierra. Fuente: <i>BBC de Londres (2014)</i> . http://news.bbc.co.uk/2/shared/spl/hi/sci_nat/04/climate_change/html/greenhouse.stm	12
Figura N° 7.- Evolución de la concentraciones de CO ₂ , CH ₄ y N ₂ O en la atmosfera terrestre. Fuente: IPCC, 2001.....	14
Figura N° 8.- Mapa de los países firmantes del protocolo de Kioto, extensión 2013-2020. Fuente: CMNUCC, 2012.	15
Figura N° 9.- Usos finales de la energía primaria por sectores, tanto en países de la OECD como a nivel mundial. Fuente: IEA, 2013.	21
Figura N° 10.- Consumo de energía asociado a las edificaciones en distintas zonas a nivel mundial tanto para edificios comerciales como residenciales. Fuente: Bradley et al, 2005.....	21

Figura N° 11.- Consumo de energía per cápita anual para edificios residenciales y comerciales en once regiones, años 1990 – 2010. Fuente: IEA, 2013.	22
Figura N° 12.- Emisiones directas e indirectas (de producción de electricidad y calor) en el sector de las edificaciones. Fuente: IEA, 2012.	23
Figura N° 13.- Emisiones directas e indirectas (de producción de electricidad y calor) en el sector de las edificaciones a nivel de regiones. Fuente: IEA, 2012.	24
Figura N° 14.- Emisiones de CO2 asociadas a la energía Fuente: Price et al. 2006.	24
Figura N° 15.- Emisiones de CO2 de las edificaciones (incluyendo el uso de la electricidad), con el escenario de alto crecimiento IPCC. Fuente: IPCC, 2007.	25
Figura N° 16.- Potencial de reducción de emisiones de CO2 en diferentes sectores para el año 2030 en función del costo asignado a las medidas de reducción (EE.UU. \$ / tonelada de CO2 equivalente). Fuente: Metz, et al., 2007.	27
Figura N° 17.- Energía consumida en el ciclo de vida de un edificio, con un estimado de 60 años. Fuente: Jone, 1998.	28
Figura N° 18.- Consumo de energía por fase del ciclo de vida en algunos edificios residenciales y comerciales. Fuente: PNUD, 2007.	29
Figura N° 19.- Diferentes usos finales de la energía en los edificios residenciales y comerciales de algunos países. Fuente: PNUD, 2007.	30
Figura N° 20.- Consumo por uso final de energía en edificaciones residenciales y comerciales a nivel mundial. Fuente: IEA, 2013.	31
Figura N° 21.- Consumo final de energía en diferentes tipologías de edificios no residenciales. Fuente: Pérez et al., 2008.	32
Figura N° 22.- Potencial de demanda de energía por índice de enfriamiento grados-día, por país. Fuente: Sivak, 2013.	33

Figura N° 23.- Las dimensiones del desarrollo sostenible. Fuente: Rodríguez et al, 2002.	52
Figura N° 24.- Círculos de la sostenibilidad. Fuente: GCCP, 2013.....	53
Figura N° 25.- Las dimensiones de la arquitectura sostenibles. Fuente: Pergolis et al., 2011.	63
Figura N° 26.- Esquema de la propuesta metodológica. Fuente: Elaboración Propia.	81
Figura N° 27.- Contexto normativo base de la propuesta. Fuente: Elaboración Propia.	83
Figura N° 28.- Esquema de la primera fase de la propuesta metodológica. Fuente: Elaboración Propia.	84
Figura N° 29.- Esquema para identificación de indicadores. Fuente. Elaboración Propia.	86
Figura N° 30.- Ejemplo de estructura desagregada basada en los tres pilares del desarrollo sostenible. Fuente. Elaboración Propia.....	87
Figura N° 31.- Esquema de la segunda fase de la propuesta metodológica. Fuente. Elaboración Propia.	90
Figura N° 32.- Etapas para el diseño y elaboración de encuestas. Fuente: Elaboración propia con base en (Alaminos, et al. 2006) y (Lapietra, 2006).	106
Figura N° 33.- Esquema ciclo de vida tecnologías de climatización y actores involucrados a nivel general de proyectos. Fuente: Elaboración propia.	107
Figura N° 34.- Perfil de los participantes encuestados. Fuente: Elaboración propia.	108
Figura N° 35.- Sector de ocupación de los participantes encuestados. Fuente: Elaboración propia.....	108

Figura N° 36.- Perfil de los participantes en la tormenta de ideas. Fuente: Elaboración propia.	112
Figura N° 37.- Sector de ocupación de los participantes en la tormenta de ideas. Fuente: Elaboración propia.	112
Figura N° 38.- Estructura propuesta para la lluvia de ideas. Fuente: Elaboración propia.	113
Figura N° 39.- Dimensiones de la sostenibilidad identificadas para el campo de la climatización de edificaciones. Fuente: Elaboración propia.	121
Figura N° 40.- Clasificación estructural de indicadores identificados para el campo de la climatización de edificaciones. Fuente: Elaboración propia.	122
Figura N° 41.- segunda clasificación estructural de indicadores en el campo de la climatización de edificaciones. Fuente: Elaboración propia.	124
Figura N° 42.- Grupo de indicadores claves seleccionados para la evaluación de la sostenibilidad en el campo de la climatización de edificaciones. Fuente: Elaboración propia.	129
Figura N° 43.- Distribución porcentual y por pesos del grupo de indicadores seleccionados, según los pilares del desarrollo sostenible. Fuente: Elaboración propia.	130
Figura N° 44.- Distribución de pesos del grupo de indicadores seleccionados, según las dimensiones de sostenibilidad. Fuente: Elaboración propia.	131
Figura N° 45.- Propuestas de aplicación del sistema de indicadores para la toma de decisiones. Fuente: Elaboración propia.	132
Figura N° 46.- Imagen satelital con la ubicación del proyecto propuesto. Fuente: GoogleEarth (2007).	136
Figura N° 47.- Levantamiento del caso de estudio. Fuente: Elaboración propia. .	137

Figura N° 48.- Valoración de cada alternativa según pilares del desarrollo sostenible.
Fuente: Elaboración propia. 162

Figura N° 48.- Diseño de encuesta. Fuente: Elaboración propia. 196

Figura N° 51.- Esquema de funcionamiento del sistema radiante por techo para calefacción (Izq.) y para enfriamiento (Der.). Fuente: Elaboración propia. 200

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1.-Porcentaje de gases principales de efecto invernadero liberado a la atmosfera correspondientes al sector energético. Fuente: PNUD, 2010.	17
Tabla N° 2.- Porcentaje de otras emisiones liberadas a la atmosfera correspondientes al sector energético. Fuente: PNUD, 2010.....	18
Tabla N° 3.- Porcentaje de otras emisiones liberadas a la atmosfera, la tierra y el agua, correspondientes al sector energético. Fuente: PNUD, 2010.	19
Tabla N° 4.- Potencial Estimado para la mitigación de los GEI a nivel sectorial en 2030, por categorías y costos. Fuente: IPCC, 2007.	26
Tabla N° 5.- Consumo de energía por usos finales en el sector residencial. Fuente: Pérez et al., 2008.....	31
Tabla N° 6.-Resultados preliminares de la revisión sistemática en EBSCO para Julio 2014. Fuente: Elaboración Propia.	39
Tabla N° 7.- Trabajos científicos seleccionados como antecedentes de la investigación. Fuente: Elaboración Propia.....	41
Tabla N° 8.- Evolución del concepto de Desarrollo Sostenible. Fuente: Elaboración propia.....	49
Tabla N° 9.- Normas ISO y CEN en relación con la construcción sostenible. Fuente: Elaboración propia.....	62
Tabla N° 10.- clasificación de los indicadores de sostenibilidad según Norma ISO 21929-1 Fuente: Elaboración propia.	88
Tabla N° 11.-Resultados preliminares de la revisión sistemática en EBSCO para Enero 2015. Fuente: Elaboración Propia.	97
Tabla N° 12.- Trabajos científicos seleccionados. Fuente: Elaboración Propia....	100

Tabla N° 13.- Lista 1 de indicadores según la revisión bibliográfica. Fuente: Elaboración Propia.	102
Tabla N° 14.- Lista 1. Dimensiones de sostenibilidad según revisión bibliográfica. Fuente: Elaboración Propia.....	102
Tabla N° 15.- Normas y leyes nacionales consideradas para la revisión. Fuente: Elaboración propia.....	103
Tabla N° 16.- Normas ISO y CEN consideradas para la revisión. Fuente: Elaboración propia.....	103
Tabla N° 17.- Lista 2 de indicadores según la revisión de la legislación tomada como referencia. Fuente: Elaboración Propia.....	105
Tabla N° 18.- Lista 2. Dimensiones de sostenibilidad según la legislación revisada. Fuente: Elaboración Propia.....	105
Tabla N° 19.- Lista 3 de indicadores según encuestas. Fuente: Elaboración Propia.	110
Tabla N° 20.- Lista 3. Dimensiones de sostenibilidad según encuestas. Fuente: Elaboración Propia.	111
Tabla N° 21.- Lista 4 de indicadores según tormenta de ideas. Fuente: Elaboración Propia.	114
Tabla N° 22.- Lista 4. Dimensiones de sostenibilidad según tormenta de ideas. Fuente: Elaboración Propia.	114
Tabla N° 23.- Lista 5 de indicadores según análisis de tecnologías de climatización. Fuente: Elaboración Propia.....	116
Tabla N° 24.- Lista 5. Dimensiones de sostenibilidad según análisis de tecnologías de climatización. Fuente: Elaboración Propia.	117

Tabla N° 25.- Lista 6 de indicadores identificados en el campo de las edificaciones. Fuente: Elaboración Propia.....	118
Tabla N° 26.- Lista 6. Dimensiones de sostenibilidad utilizadas en el campo de las edificaciones. Fuente: Elaboración Propia.	118
Tabla N° 27.- Informes seleccionados. Fuente: Elaboración Propia.....	119
Tabla N° 28.- Lista 7 de indicadores identificados en el sector energético. Fuente: Elaboración Propia.	119
Tabla N° 29.- Lista 7. Dimensiones de sostenibilidad identificadas en el sector energético. Fuente: Elaboración Propia.....	120
Tabla N° 30.- Matriz de decantación de indicadores para el campo de la climatización de edificaciones. Fuente: Elaboración propia, con lineamientos de la Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2007).....	123
Tabla N° 31.- Matriz para comparación de indicadores por pares (Método AHP). Fuente: Elaboración propia.....	126
Tabla N° 32.- Indicadores organizados según el orden de importancia (Método AHP). Fuente: Elaboración propia.....	128
Tabla N° 33.- Análisis de la influencia de cada indicador seleccionado por fases del ciclo de vida de un proyecto de climatización de edificaciones. Fuente: Elaboración propia.....	130
Tabla N° 34.- Criterios de evaluación para cada indicador. Fuente: Elaboración propia.	133
Tabla N° 35.- Emisiones de CO2 totales (kg) por alternativa estudiada. Fuente: Elaboración propia con base en datos del ITeC.....	140
Tabla N° 36.- Valoración normalizada de alternativas según emisiones de CO2 . Fuente: Elaboración propia.....	140

Tabla N° 37.- Cantidad de materiales peligrosos utilizados en las diferentes alternativas. Fuente: Elaboración propia.	140
Tabla N° 38.- Valoración normalizada de alternativas según uso de materiales peligrosos. Fuente: Elaboración propia.....	141
Tabla N° 39.- Estimación de la huella ecológica (ha) por alternativa estudiada. Fuente: Elaboración propia según metodología desarrolla por Doménech et al, (2010) ...	141
Tabla N° 40.- Valoración normalizada de alternativas según su huella ecológica. Fuente: Elaboración propia.....	142
Tabla N° 41.- Estimación de consumo de materiales (t) por alternativa estudiada. Fuente: Elaboración propia.....	142
Tabla N° 42.- Valoración normalizada de alternativas según el consumo de materiales. Fuente: Elaboración propia.....	142
Tabla N° 43.- Valoración normalizada de alternativas respecto al uso de energías renovables. Fuente: Elaboración propia.	143
Tabla N° 44.- Estimación de residuos generados (t) por alternativa estudiada. Fuente: Elaboración propia.....	144
Tabla N° 45.- Valoración normalizada de alternativas según la generación de residuos. Fuente: Elaboración propia.....	144
Tabla N° 46.- Estimación de consumo de agua (m3) por alternativa estudiada. Fuente: Elaboración propia.....	144
Tabla N° 47.- Valoración normalizada de alternativas según el consumo de agua. Fuente: Elaboración propia.....	145
Tabla N° 48.- Valoración normalizada de alternativas según el indicador de confort higrotérmico. Fuente: Elaboración propia.....	147

Tabla N° 49.- Estimación del área de construcción y/o demolición (m²) por alternativa estudiada. Fuente: Elaboración propia.	147
Tabla N° 50.- Valoración normalizada de alternativas según seguridad y salud. Fuente: Elaboración propia.	148
Tabla N° 51.- Estimación de las renovaciones de aire exterior (m ³ /h) por alternativa estudiada. Fuente: Elaboración propia.	148
Tabla N° 52.- Valoración normalizada de alternativas según m ³ /h de aire exterior renovado en el espacio. Fuente: Elaboración propia.	149
Tabla N° 53.- Estimación del nivel de ruido (dB) por alternativa estudiada. Fuente: Elaboración propia.	149
Tabla N° 54.- Valoración normalizada de alternativas según nivel de ruido dentro del recinto. Fuente: Elaboración propia.	149
Tabla N° 55.- Estimación de la cantidad de mano de obra local requerida por alternativa estudiada. Fuente: Elaboración propia.	150
Tabla N° 56.- Valoración normalizada de alternativas según nivel de ruido dentro del recinto. Fuente: Elaboración propia.	151
Tabla N° 57.- Valoración normalizada de alternativas en cuanto al respeto del patrimonio histórico y cultural. Fuente: Elaboración propia.	151
Tabla N° 58.- Valoración de la responsabilidad social de cada alternativa estudiada. Fuente: Elaboración propia.	152
Tabla N° 59.- Valoración normalizada de alternativas según su responsabilidad social. Fuente: Elaboración propia.	152
Tabla N° 60.- Consumo total de energía (KWh) por alternativa estudiada. Fuente: Elaboración propia.	153

Tabla N° 61.- Valoración normalizada de alternativas según consumo de energía. Fuente: Elaboración propia.....	153
Tabla N° 62.- Puntuación correspondiente al transporte asociado a cada alternativa estudiada. Fuente: Elaboración propia.	154
Tabla N° 63.- Valoración normalizada de alternativas según distancia de transporte. Fuente: Elaboración propia.....	154
Tabla N° 64.- Costo global (Ciclo de vida) por alternativa estudiada. Fuente: Elaboración propia con información del proyecto.	155
Tabla N° 65.- Valoración normalizada de alternativas según consumo de energía. Fuente: Elaboración propia.....	155
Tabla N° 66.- Valoración normalizada de alternativas respecto acreditación y/o certificación de calidad. Fuente: Elaboración propia.	156
Tabla N° 67.- Valoración normalizada de alternativas respecto a la vulnerabilidad ante desastres naturales. Fuente: Elaboración propia.....	156
Tabla N° 68.- Puntuación correspondiente a la vulnerabilidad por cambio climático de cada alternativa estudiada. Fuente: Elaboración propia.	157
Tabla N° 69.- Valoración normalizada de alternativas según su vulnerabilidad ante el cambio climático. Fuente: Elaboración propia.	157
Tabla N° 70.- Valoración normalizada de alternativas respecto a la previsión para la deconstrucción. Fuente: Elaboración propia.....	158
Tabla N° 71.- Síntesis de resultados normalizados producto de la aplicación del sistema de indicadores al caso de estudio. Fuente: Elaboración propia.....	159
Tabla N° 72.- Matriz decisional. Fuente: Elaboración propia.	159
Tabla N° 73.- Matriz de dominación con Índice PRES. Fuente: Elaboración propia.	160

Tabla N° 74.- Esquema de dominación de las alternativas estudiadas. Fuente:
Elaboración propia..... 161

Tabla N° 75.- Indicadores considerados para la evaluación, según información
disponible en el proyecto. Fuente: Elaboración propia..... 168

LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

ACP	Análisis de Componentes Principales
AF	Análisis Factorial
AHP	Proceso analítico jerárquico (Siglas en inglés)
BEDEC	Banco Estructurado de Datos de Elementos Constructivos
CASBEE	Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency
CDS	Comisión de Desarrollo Sostenible
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
CMMAD	Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
CNUMAD	Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo
CORPOELEC	Corporación Eléctrica Nacional
DPSIR	Driving Forces Press State Impact Response
DSR	Driving Forces State Response
ECPA	Alianza de Energía y Clima de las Américas (Siglas en inglés)
EDT	Estructura desagregada de trabajo
EEA	Agencia Europea del Medio Ambiente
EEUU	Estados Unidos de América (Siglas en inglés)
EIA	Evaluación de Impacto Ambiental
GCCP	Global Compact Cities programme
GEI	Gases de efecto invernadero
GVP	Protocolo General de Verificación (Siglas en inglés)

HE	Huella Ecológica
HVAC	calefacción, ventilación y aire acondicionado (Siglas en ingles)
IDEC	Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción
IEA	Agencia Internacional de la Energía
IPCC	Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (Siglas en ingles)
ISO	International Organization for Standarization
ITeC	Instituto Tecnológico de la Construcción de Cataluña
LEED	Leadership in Energy & Environmental Design
OECD	Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico
OMM	Organización Meteorológica Mundial
ONU	Organización de las Naciones Unidas
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
PRESCO	Practical Recommendations for Sustainability Construction
PSR	Pressure State Response
RCD	Residuos de Construcción y Demolición
STEP	The Sustainable Technologies Evaluation Program
TPB	Sustancias tóxicas, persistentes y bioacumulativas
TRCA	Autoridad de Conservación Regional de Toronto
UICN	Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza
UNESCO	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura

INTRODUCCIÓN

Cada vez es mayor el consenso científico respecto a la afirmación de que el calentamiento global por efecto invernadero responde a un fenómeno asociado principalmente a las actividades humanas, y que sus consecuencias en el planeta representan la mayor amenaza a corto y mediano plazo, dado que los gases de efecto invernadero (GEI) provenientes principalmente de la quema de combustibles fósiles para la generación de energía y calor, son los principales responsables en el aumento de la temperatura terrestre (IPCC 2007).

En este contexto las edificaciones juegan un papel preponderante. Estudios llevados a cabo por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OECD por sus siglas en inglés), publicados en el World Energy Outlook 2013 (AIE, 2013), sugieren que los sectores residencial y comercial son responsables del 37% de la energía primaria que se consume anualmente en los países de la OECD, y del 36% de la energía que se consume a nivel mundial, teniendo un comportamiento similar en lo que respecta a las emisiones de CO_2 al ambiente.

Entendiendo que estos datos del consumo energético y emisiones de CO_2 en las edificaciones contemplan todo su ciclo de vida, en el libro “Building and climate change” (PNUP, 2007), se indica que cerca del 71% de ese consumo ocurre durante su uso, por lo que adquiere especial importancia este periodo dentro de todo el ciclo de vida de la edificación.

La Agencia Internacional de la Energía (IEA), en su informe “World Energy Outlook 2013” precisa que el consumo final de la energía en las edificaciones residenciales y comerciales para el año 2010, es liderado por la climatización con un 34% y 40% respectivamente, lo cual fue indicado igualmente por el PNUD (2007).

Pérez et al, (2008) sugiere que en las naciones desarrolladas la climatización representa la mitad de la energía consumida por los edificios, y entre la quinta y décima parte de la energía total. Además, en un estudio realizado por Adnot et al. (2003) se estima habrá un marcado crecimiento tanto en el consumo como en la

superficie climatizada en los próximos 15 años, lo que representaría solo para el caso de la Unión Europea, un aumento del 50% del consumo por climatización para el año 2018.

Sin embargo, las estimaciones más preocupantes derivan de un estudio realizado por Sivak (2013), quien luego de evaluar el potencial de la demanda de energía solo por concepto del uso de equipos de aire acondicionado en 170 países, y tomando como referencia el consumo actual por climatización de los EEUU por ser el mayor a nivel mundial, concluye que, debido a que la mayor cantidad de países en vías de desarrollo se encuentran en climas cálidos o calientes, de seguir su crecimiento económico podría superarse 45 veces el consumo actual de los EEUU, mientras que solo la India y China serían responsables del 50 % de ese aumento.

A pesar del panorama anterior, y con base en una investigación fundamentada en 80 estudios realizados a nivel mundial (Levine et al. 2007) la cual fue avalada por el IPCC en su cuarto informe de evaluación (IPCC, 2007), existe un potencial global para la reducción aproximada de 29% de las emisiones GEI asociadas a edificios residenciales y comerciales para el año 2020 y 31% para el año 2030. Igualmente destaca que por concepto de ahorro energético en edificaciones, los países en vías de desarrollo tienen el doble del potencial que tendrían los países miembros de OECD y los países con economías en transición (EIT) juntos, a la vez que poseen el 42% del potencial total de ahorro de todo el sector a nivel mundial.

Por lo tanto, es clara la necesidad presente y futura de profundizar en el campo de la climatización de edificaciones, en especial en clima cálido húmedo donde predomina el mayor número de países en vía de desarrollo. Entendiéndose la climatización como sector clave para el logro de la sostenibilidad.

En este sentido, han sido muchas las experiencias documentadas en donde se desarrolla y cuantifica el potencial de nuevas tecnologías de climatización denominadas pasivas o cuasi-pasivas, las cuales garantizan el logro del confort térmico en las edificaciones sin consumir energía eléctrica o hacerlo de forma muy reducida (Santamouris, et al, 2007), (Finocchiaro, et al, 2010), (Geetha, et al, 2012),

(Cam, 2012), (Santamouris, et al, 2013), siendo menores las experiencias en clima tropical húmedo, con excepción de países como Malaysia, Hong Kong, México y Venezuela (Toe, et al, 2014), (Kubota, et al, 2012), (Tetsu, et al, 2010), (Chyee, et al, 2009), (Lopez, et al, 2011), (Castillo, et al, 2011), (Figueroa, et al, 2011), (Huelsz, et al, 2011), (Xinhua, et al, 2008), (Madhumathi, et al, 2012), (Sanusi, et al, 2013), (Lorenzo, 2007), (Lorenzo et al, 2008), (Allard, et al, 1998), (Hobaica, et al, 2001), (González, 1997), (González, 2011), (Prado, 2015), (Piñate, et al, 2013), (Piñate, 2016). Sin embargo, los estudios consultados se centran en el desarrollo o aplicación de distintas tecnologías a nivel particular y en un contexto determinado, detectándose un vacío sustancial respecto a la existencia de metodologías que permitan su evaluación en el campo de la sostenibilidad, y como herramienta fundamental para la toma de decisiones.

Algo similar ocurre cuando se profundiza en la evaluación de la sostenibilidad en las edificaciones, donde durante los últimos quince años han proliferado un número importante de métodos, herramientas, estándares y certificaciones, enfocadas principalmente en la evaluación general del edificio (IHOBE, 2010), simplificando el campo de la climatización a indicadores globales que no necesariamente evalúan solo este aspecto, lo que pudiese ocasionar una lectura poco objetiva que no refleje el verdadero peso de la climatización en la evaluación de la sostenibilidad de una edificación, al dejar de lado aspectos fundamentales como la calidad del aire, niveles de ruido, aceptación por parte de los usuarios, durabilidad, mantenimiento, costos, etc.

Es por esto que se evidencia la necesidad de contar con nuevas metodologías enfocadas en la evaluación de distintos aspectos dentro de la sostenibilidad, con el fin de obtener mediciones o datos más objetivos, que de otra forma no pudiesen lograrse, especialmente cuando se piensa en casos como la evaluación de sistemas constructivos, procesos de producción, nuevas tecnologías, etc. (IHOBE, 2010).

En base a estos hallazgos, y tomando en cuenta todo el contexto descrito anteriormente, la presente investigación desarrolla una metodología para la evaluación de proyectos de climatización de edificaciones dentro del marco de la

sostenibilidad, mediante la conceptualización y diseño de un modelo integrado de indicadores específicos para el campo de la climatización de edificaciones en el contexto venezolano.

Por lo tanto, la justificación del trabajo se centra en la problemática actual del consumo energético, sus impactos ambientales, la relación con las edificaciones y la climatización, junto a la necesidad de avanzar en la evaluación y medición de la sostenibilidad, entendiendo estos como los elementos clave para el abordaje de la propuesta.

En cuanto a los antecedentes, mediante una revisión sistemática de los trabajos científicos adelantados hasta la fecha respecto a la evaluación de tecnologías de climatización de edificaciones en el marco de la sostenibilidad, se obtiene un panorama actualizado del estado del arte, permitiendo la identificación de los vacíos existentes en dicha línea de investigación, que en definitiva corroboran la necesidad de la investigación propuesta.

El marco teórico por su parte, desarrolla el tema de la sostenibilidad y los indicadores como elemento para su evaluación, acompañado de una revisión del marco normativo existente y de los aspectos éticos relacionados al tema de la arquitectura, considerando los principales debates que en la actualidad existen respecto a los sistemas de evaluación basados en indicadores.

Asimismo, y como parte final de la metodología propuesta, se realiza la aplicación del modelo de evaluación propuesto en una edificación de uso industrial ubicada en la ciudad de Caracas, donde se analizan tres tecnologías de climatización (Sistema Rooftop, Sistema de tubos enterrados, Sistema Radiante). Esto con miras en su validación como instrumento de apoyo en la toma de decisiones a nivel de la planificación de políticas, elaboración de programas y/o gerencia de proyectos, así como en el ejercicio profesional del arquitecto, en la búsqueda de la sostenibilidad de su obra, entendida esta como el planteamiento ético fundamental.

En este sentido, la tesis se organiza en seis (6) capítulos que desarrollan los siguientes aspectos de la investigación: Capítulo 1. Problemática de la climatización de edificaciones; Capítulo 2. Marco teórico referencial; Capítulo 3. Marco metodológico; Capítulo 4. Aplicación de la metodología de aplicación propuesta; Capítulo 5. Aplicación en caso de estudio; y finalmente Capítulo 6. Con las conclusiones y recomendaciones de la investigación.

CAPITULO 1. PROBLEMÁTICA DE LA CLIMATIZACIÓN DE EDIFICACIONES

Este capítulo comienza con la evaluación del contexto energético mundial y sus implicaciones en el ambiente, a la vez que se presenta la relación existente entre las edificaciones y la matriz energética mundial, destacando el peso que posee el equipamiento asociado a la climatización. Asimismo, se analiza la sostenibilidad como elemento sociopolítico y la necesidad de avanzar en su evaluación y medición en todos los niveles, siendo el caso que nos ocupa, el referido a las tecnologías de climatización para edificaciones, por lo que se presenta una revisión sistemática de los trabajos realizados hasta la fecha, así como los vacíos existentes en esta área, para finalmente cerrar con los objetivos de la investigación propuesta.

1.1.- Contexto energético mundial

A lo largo de la historia el ser humano ha recurrido a la energía como bien vital para su vida. Desde el descubrimiento del fuego, la biomasa fue utilizada para la generación de calor, cocción de alimentos y algunos procesos de fabricación de herramientas y accesorios a nivel artesanal, siendo los animales los principales medios de transporte y de apoyo en las distintas actividades de producción y cultivo de alimentos. Sin embargo, luego de la revolución industrial esto cambió

radicalmente ya que se comienza a utilizar intensivamente el carbón, alimentando así a la máquina de vapor, quien lideró el crecimiento industrial.

Entre mediados y finales del siglo XIX se observa un punto de inflexión en el consumo energético, ya que surge el petróleo y el gas como fuentes energéticas. Éstas serán las que alimenten los nuevos inventos como el motor de combustión interna, que propulsará al automóvil y, más adelante, a los aviones. El petróleo creció a partir de entonces y lo hizo más rápido que el gas, hasta convertirse en la fuente de energía más utilizada a mediados del siglo XX relevando por primera vez al carbón como fuente principal de energía.

Con datos estadísticos de la empresa petrolera BP, Smil (2010) en su libro “Energy Transitions: History, Requirements and Prospects” presenta una gráfica donde se puede observar la evolución de la demanda de energía primaria a nivel mundial y la diversificación de su producción, desde el año 1820 (Figura N° 1).

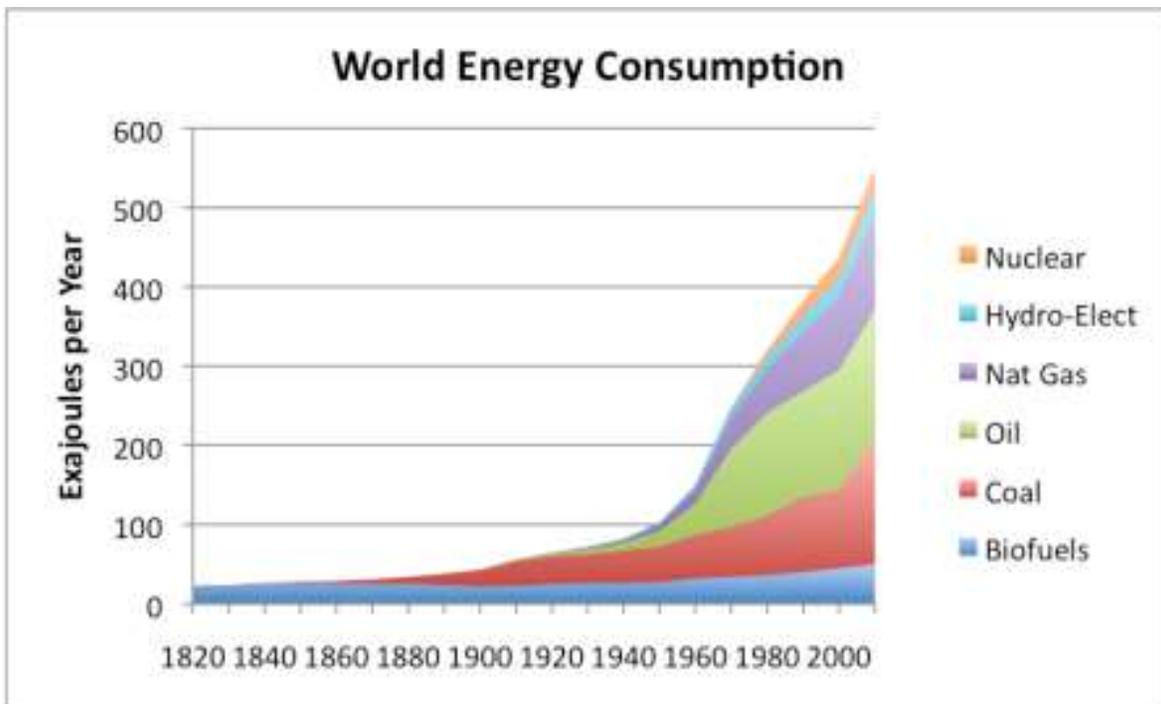


Figura N° 1 evolución de la demanda de energía primaria y sus fuentes de producción. Fuente: (Smil, 2010)

En la actualidad, la energía se ha convertido en recurso indispensable para la actividad económica y social a nivel mundial. La humanidad consume cincuenta

veces más energía que hace un siglo y este aumento de las necesidades energéticas plantea hoy nuevos problemas y exige a su vez nuevas reflexiones. Según el banco mundial para el año 2011, el 81,5 % del total de la energía consumida en el mundo provenía de combustibles fósiles como el carbón, gas natural y petróleo.

En el informe “Shell Global Scenarios to 2050” publicado en 2008, se estima que la demanda mundial de energía aumentará cerca de un 50 % para el año 2050, con una presencia mayor de energías renovables, sin embargo, en todos los escenarios evaluados se mantiene la predominancia del petróleo y el resto de los combustibles fósiles como principales fuentes de energía (Figura N° 2).

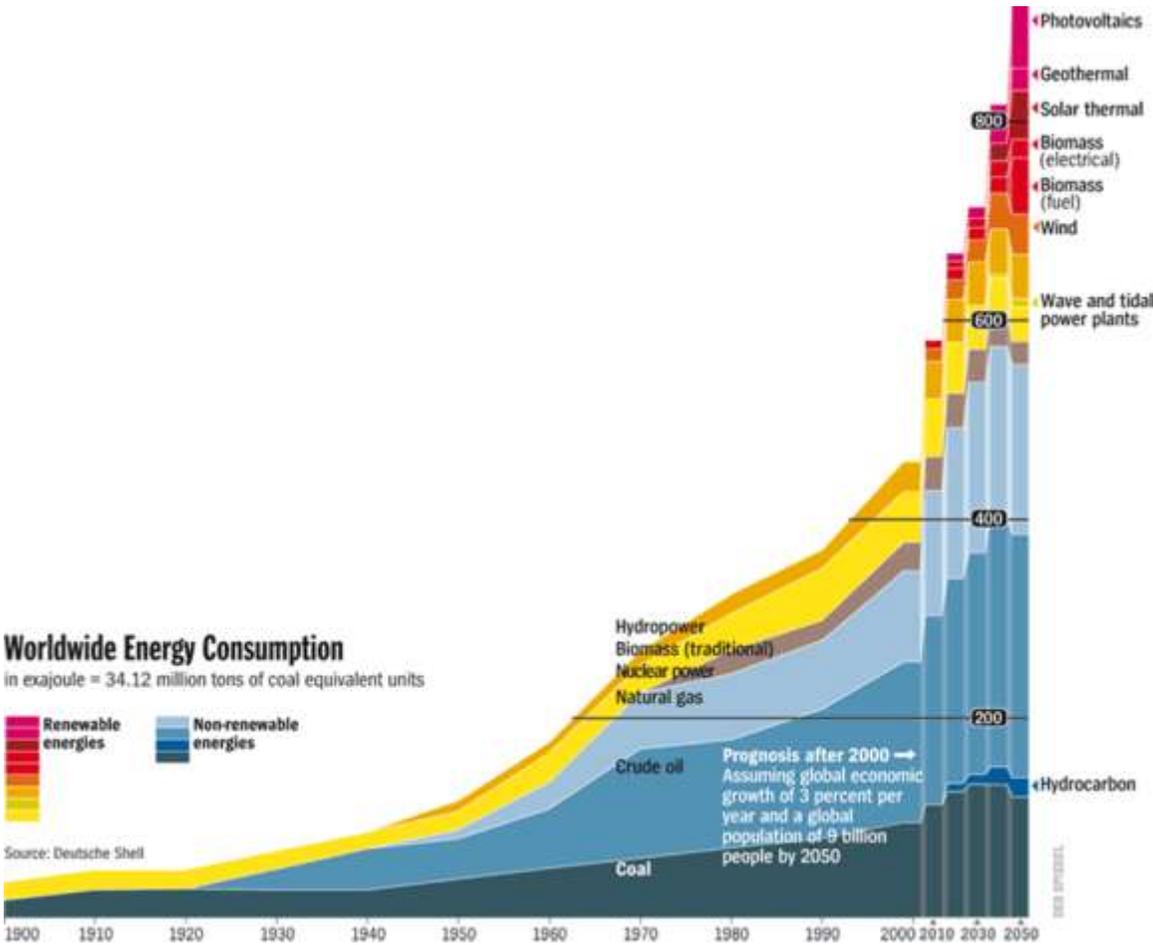
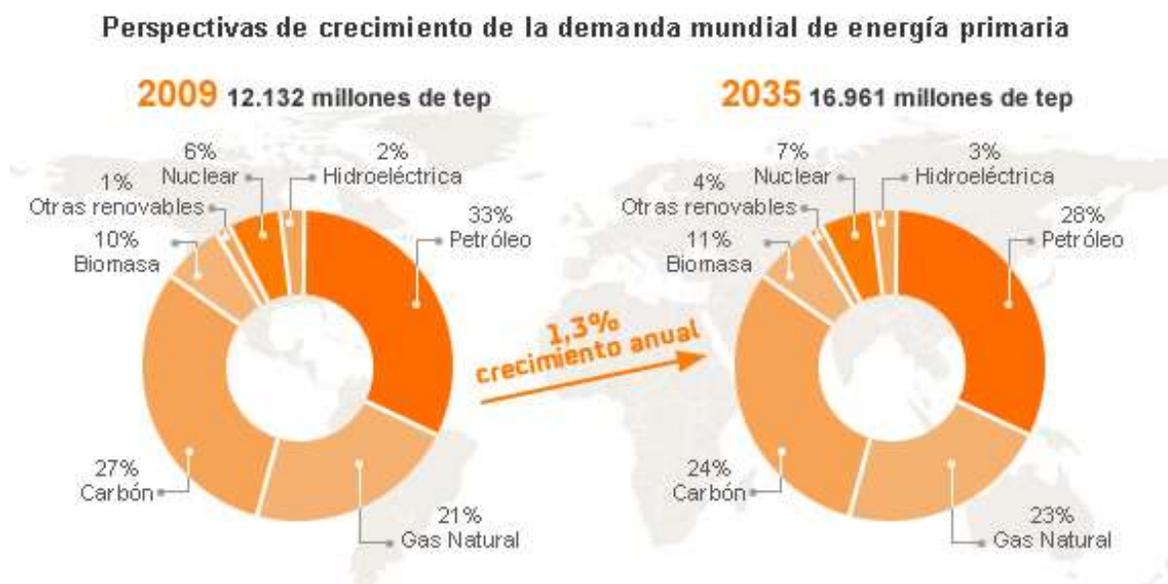


Figura N° 2 Consumo de energía mundial con escenarios de los años 2030 y 2050 y sus fuentes de producción. Fuente: Shell Global Scenarios to 2050 (2008).

Según la Agencia Internacional de la Energía (IEA) que es una organización especializada en el campo de las políticas energética y asesora a más de 26 países, incluido Estados Unidos, Canadá, Australia y 19 naciones europeas, entre ellas Alemania y Gran Bretaña, en su escenario base publicado en el “World Energy Outlook 2011”, corrobora que al menos hasta el año 2035 no se esperan grandes cambios en la matriz energética mundial, siendo los hidrocarburos los que aporten más del 70 % de la energía consumida, manteniéndose el petróleo como la fuente energética más utilizada, a pesar que se estima una contracción de 5 puntos porcentuales para el año 2035 respecto al 2009. Por su parte, el gas natural alcanzará una participación del 23% sobre una demanda energética total estimada en 16.961 millones de toneladas equivalentes de petróleo (Figura N° 3).



Fuente: World Energy Outlook 2011, Agencia Internacional de la Energía (AIE)

Elaboración: Dirección de Estudios y Análisis del Entorno de Repsol

Figura N° 3.- Perspectiva del crecimiento de la demanda mundial de energía primaria para el año 2035.
Fuente: World Energy Outlook 2011 (IEA, 2011).

De manera directa, esta tendencia se ha reflejado en el comportamiento de la energía eléctrica a nivel mundial, y se estima que para el año 2015 las fuentes de energía requeridas para la generación eléctrica serán provenientes de combustibles fósiles en un 71,7 % (Figura N° 4), mientras el consumo de electricidad aumentará 76% para el año 2030 respecto al 2009, lo que equivaldría a una capacidad

requerida de 4.800 gigavatios, que es el equivalente a 5 veces la capacidad actual de los Estados Unidos (Figura N° 5)

Combustibles y fuentes de energía para la generación eléctrica mundial, 2005-2015
(TWh)

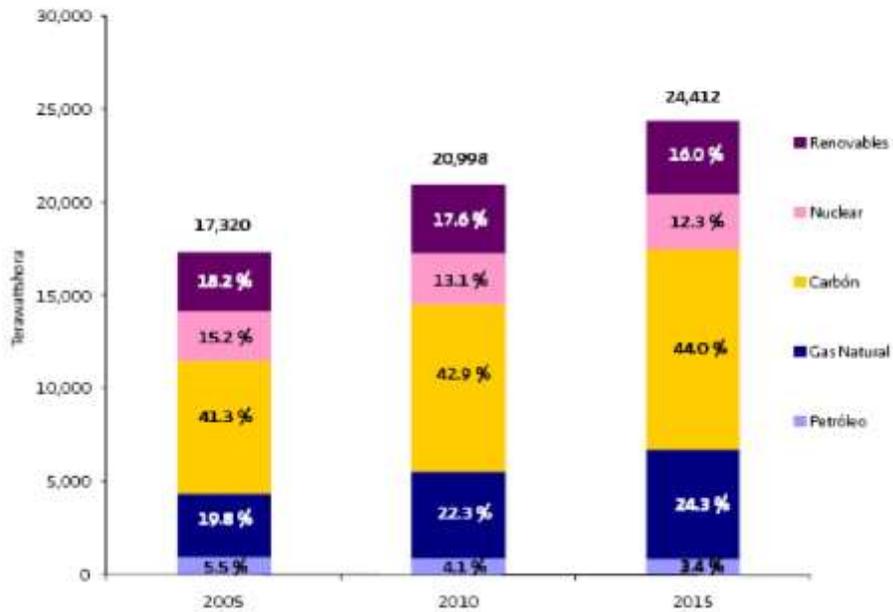


Figura N° 4.- combustibles y fuentes de energía para la generación eléctrica mundial 2005-2015. Fuente: World Energy Outlook 2008 (IEA, 2008).

Demanda de energía eléctrica mundial

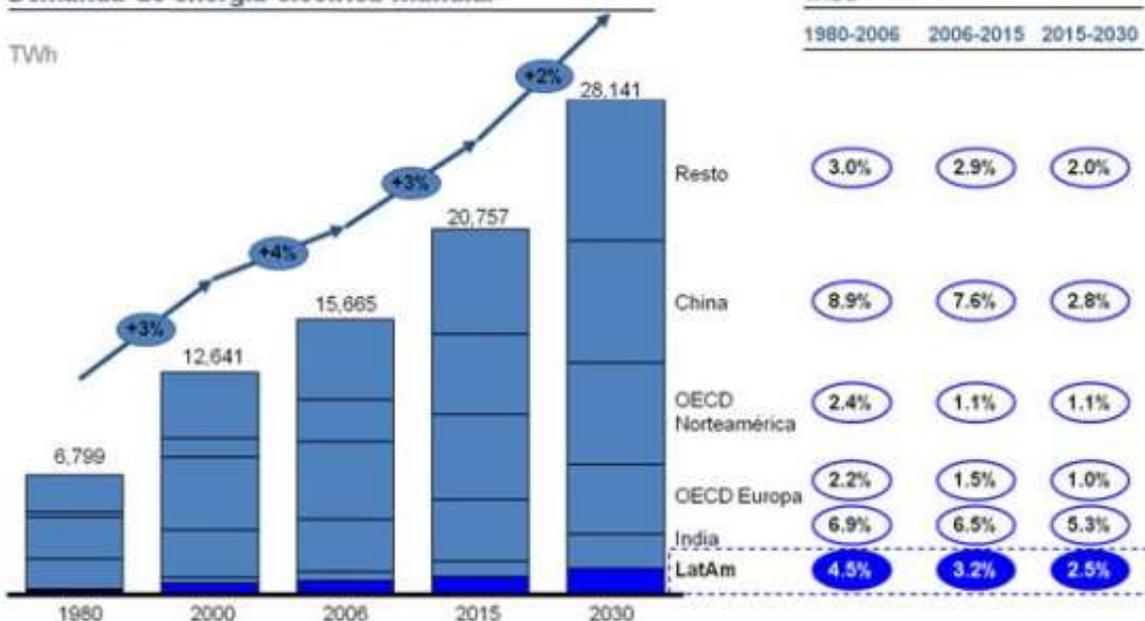


Figura N° 5.- Demanda de energía eléctrica mundial 2015-2030. Fuente: World Energy Outlook 2008 (IEA, 2008).

Sin embargo, esta realidad que resulta ahora natural hasta el punto de no cuestionarse, supone al menos dos problemas esenciales. En primer lugar, existe una limitación de las reservas, no sólo por la detección de los yacimientos y disponibilidad de los recursos no renovables, sino también por las limitaciones tecnológicas para su extracción de forma viable y económica; Y en segundo lugar, la producción y consumo de los combustibles fósiles ocasionan un enorme impacto ambiental, destacando entre otros, el aumento de la emisiones de GEI al ambiente, quienes se ubican como los principales responsables del cambio climático por efecto invernadero.

1.2.- Cambio climático por efecto invernadero.

Es importante aclarar que el efecto invernadero es un fenómeno natural que ha permitido el desarrollo de la vida en la tierra como la conocemos. La concentración natural de gases en la atmósfera permite retener parte de la energía calórica que se recibe del sol, manteniendo una temperatura promedio sobre la superficie del planeta la cual permite la vida.

Esquemáticamente, como se observa en la Figura N° 6, el efecto invernadero se origina una vez que los rayos solares traspasan la atmósfera hasta chocar con la superficie terrestre, la cual absorbe una parte y el resto se remite hacia el exterior en ondas de frecuencias más largas. Esta radiación denominada infrarroja es absorbida con mayor intensidad por los gases de efecto invernadero y una parte es devuelta nuevamente a la tierra, mientras que la otra parte regresar finalmente al espacio. Esto produce un balance térmico conocido como efecto invernadero, proceso que de manera natural permite obtener un promedio de temperatura óptimo para la vida en el planeta.

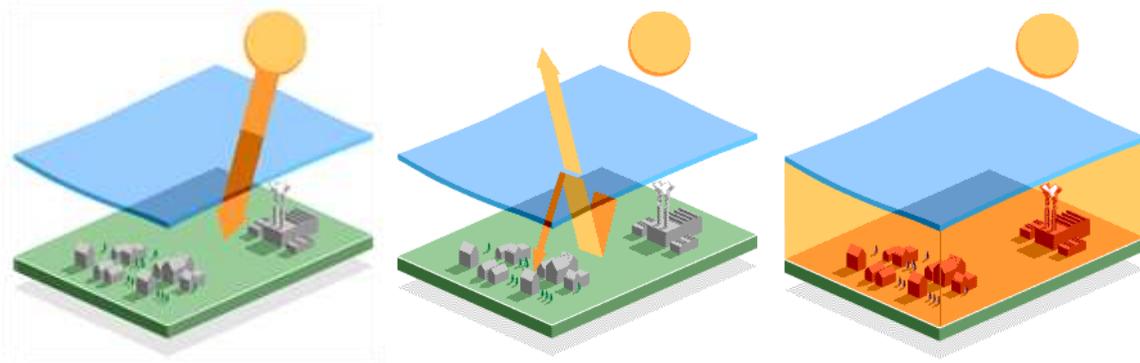


Figura N° 6.- Esquema del efecto invernadero en la tierra. Fuente: *BBC de Londres (2014)*.
http://news.bbc.co.uk/2/shared/spl/hi/sci_nat/04/climate_change/html/greenhouse.stm

Sin embargo, a causa de las actividades humanas basadas en un elevado consumo de energía proveniente de combustibles fósiles, se ha venido alterando de manera significativa la concentración de estos gases presentes en la atmósfera, ocasionando un desequilibrio térmico que conlleva al cambio climático por efecto del calentamiento global, considerado éste como una de las mayores amenazas en la actualidad.

En este sentido, la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) establecieron en 1988 el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). Su mandato es evaluar periódicamente sobre una base exhaustiva, objetiva, abierta y transparente, la información científica, técnica y socioeconómica sobre el cambio climático que se difunde a nivel mundial en artículos, publicaciones periódicas y libros refrendados por otros expertos en la materia.

Desde su creación, el IPCC ha preparado una serie de documentos técnicos que ha permitido suministrar a la comunidad internacional, incluyendo los responsables de políticas y el público en general, el conocimiento científico-técnico disponible sobre el cambio climático. Esta información juega un papel clave en las negociaciones que se tienen en el marco de la Convención sobre Cambio Climático y del Protocolo de Kioto. El primer Informe de evaluación, realizado en 1990, tuvo un papel decisivo para el arranque del proceso internacional de negociación que condujo a la creación de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Dicha

Convención fue adoptada en 1992 y proporciona el marco global para orientar los temas políticos del cambio climático. Por su parte, el segundo Informe de evaluación: “Cambio Climático 1995” proporcionó información clave para las negociaciones que condujeron a la adopción del Protocolo de Kioto, en 1997.

Con un su tercer Informe de Evaluación, aprobado en 2001, el IPCC presenta los resultados de los cinco últimos años de investigación climática, con un consenso importante que permitió proporcionar las bases para los procesos de toma de decisiones en el ámbito internacional.

Dicho Informe presenta nuevas evidencias de que el calentamiento global observado en los últimos 50 años es debido a las actividades humanas, y que los factores más relevantes se refieren al aumento de las concentraciones atmosféricas de gases con efecto invernadero y aerosoles. No obstante, las observaciones de estos factores fueron muy variables debido a la escasa disponibilidad de datos previos a la era industrial, por lo que se valieron de sondeos profundos en el hielo para cuantificar la concentración de estos gases en la atmosfera terrestre durante el último milenio.

Como se observa en la Figura N° 7, el patrón de crecimiento del CO_2 , CH_4 y N_2O en la atmosfera es prácticamente el mismo entre sí, siendo a mediados del siglo XIX el momento en que comienza el crecimiento sostenido hasta la actualidad, lo cual coincide con el aumento de la demanda de energía luego de la revolución industrial y la diversificación de las fuentes de producción. Según este estudio desde el año 1750 el CO_2 se ha incrementado un 31%, el metano atmosférico (CH_4) un 150% y el óxido nitroso (N_2O) un 16%, todos gases provenientes principalmente del consumo y producción de energía fósil: petróleo, gas natural y carbón mineral.

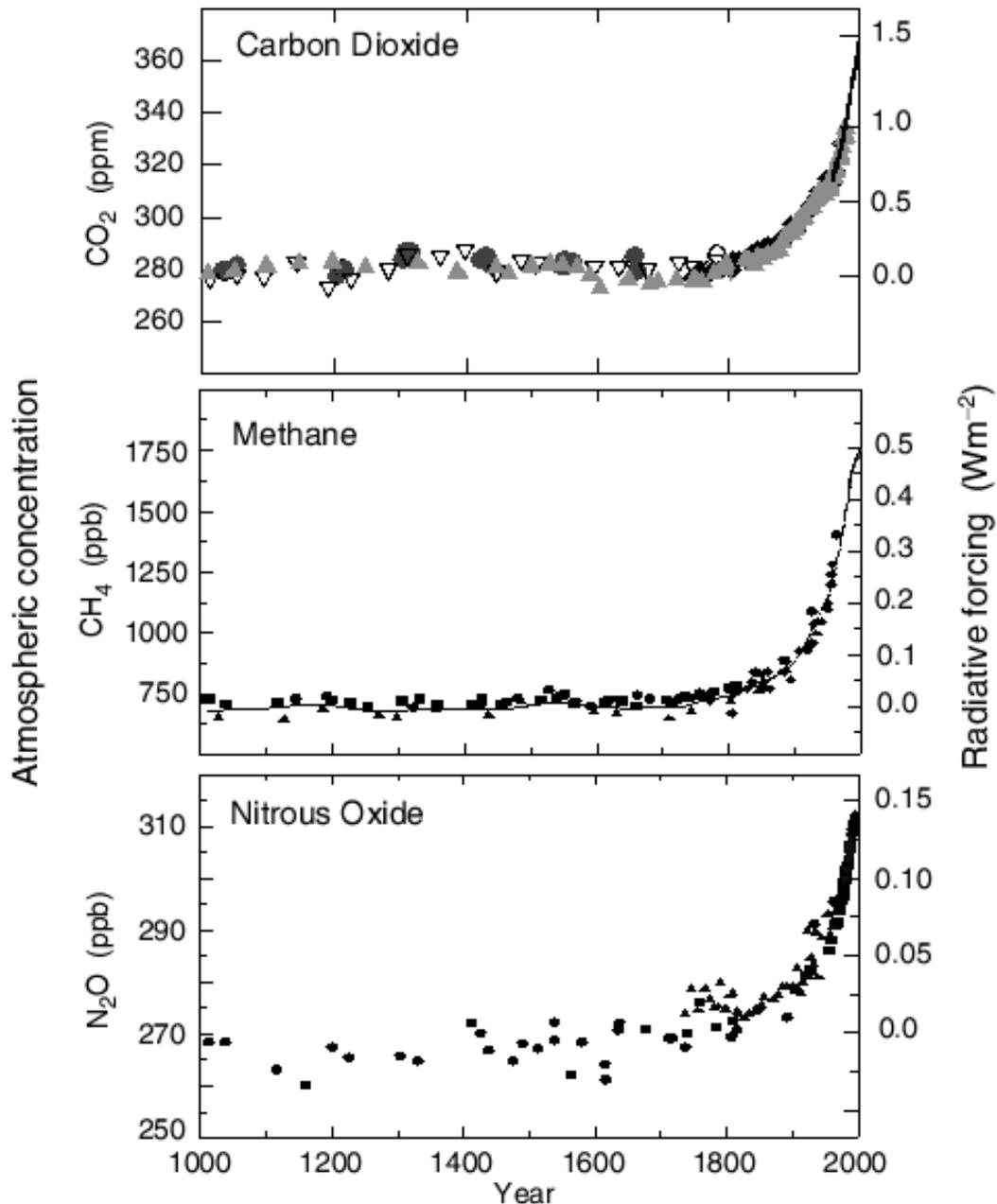


Figura N° 7.- Evolución de la concentraciones de CO₂, CH₄ y N₂O en la atmosfera terrestre. Fuente: IPCC, 2001.

Cuatro años después de la presentación del tercer Informe de evaluación del IPCC, entra en vigor el protocolo de Kioto, el cual forma parte de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), pretendiendo sentar bases concretas y un compromiso internacional para frenar el Cambio Climático. Su objetivo fue reducir las emisiones de seis gases de efecto invernadero: dióxido de

carbono (CO_2), gas metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O), además de tres gases industriales fluorados: hidrofluorocarburos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF_6), en un porcentaje aproximado de 5 %, dentro del periodo comprendido entre el año 2008 y 2012, en comparación a las emisiones registradas en el año 1990. Sin embargo, en la Decimoctava Conferencia de las Partes (COP 18), llevada a cabo en Qatar en 2012, este compromiso se extendió desde el 2013 hasta el 2020, denotando un débil compromiso de los países industrializados, tales como Estados Unidos, Rusia, Japón y Canadá, los cuales decidieron no respaldar esta prórroga (Figura N° 8).

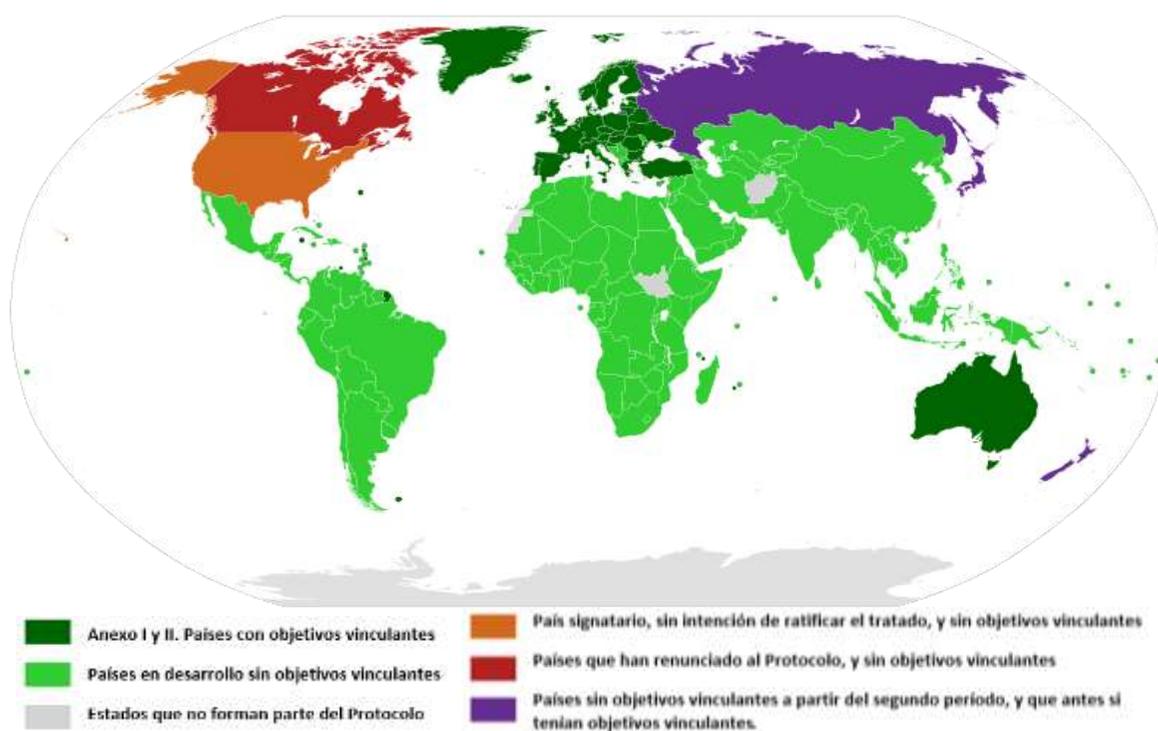


Figura N° 8.- Mapa de los países firmantes del protocolo de Kioto, extensión 2013-2020. Fuente: CMNUCC, 2012.

En el año 2007, y luego de haberse publicado el cuarto Informe de valuación del IPCC, se proporcionan nuevas evidencias respecto a las consecuencias del cambio climático, las cuales podrían resultar desastrosas: los desiertos se harían más cálidos agravando el problema de la sequía en Oriente Medio y África; al fundirse glaciares y casquetes polares se pondrían en peligro ciudades y campos; algunas

superficies costeras podrían resultar inundadas por la subida del nivel del mar. Obras de contención del mar, migraciones humanas, cambios de cultivos serían algunos de los efectos sociales y económicos del calentamiento terrestre.

Mientras, en Noviembre de 2014 el IPCC presenta su quinto informe donde advierte con gran preocupación, que a pesar de un número creciente de políticas para reducir el cambio climático, se ha constatado que las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero han aumentado a niveles sin precedentes. Incluso, entre el año 2000 y 2010 aumentaron mucho más rápido, que en cada uno de los tres decenios anteriores. Aun así, estiman que con una amplia gama de medidas tecnológicas y cambios de comportamiento sería posible limitar el aumento de la temperatura media global a solo 2 °C por encima de los niveles preindustriales. En todo caso, solo un cambio institucional y tecnológico importante haría que hubiera más del 50% de probabilidades de que el calentamiento global no superare ese umbral (IPCC, 2014).

1.3.- Consumo de energía y su impacto ambiental.

La producción y el consumo de energía están estrechamente vinculados con la degradación del ambiente. Los impactos, a pesar de ser de diferente índole, confluyen en una serie de amenazas para la salud humana y la calidad de vida, muchas de las cuales ya se han comenzado a sentir en la actualidad; mientras, se sigue comprometiendo seriamente el equilibrio ecológico y la diversidad biológica, cuyos efectos se irán evidenciando más ampliamente en un mediano o largo plazo.

Como se pudo observar en los apartados anteriores, durante los últimos 150 años se ha producido un cambio significativo en la escala, no solo de los patrones de consumo de energía, sino en sus efectos sobre el ambiente. Éstos han pasado de tener implicaciones básicamente locales como la deforestación para la obtención de la madera, a adquirir dimensiones mundiales como el cambio climático, la lluvia ácida, entre otros. Adicionalmente, de mantenerse o incrementarse los patrones de consumo energético actuales, es evidente su insostenibilidad.

En todo caso, los principales efectos del uso de la energía sobre el ambiente se pueden agrupar en las siguientes tres categorías:

■ Emisión de gases de efecto invernadero

Como se explicó anteriormente, el aumento de la concentración de estos gases en la atmósfera eleva la dificultad de salida de los rayos provenientes del sol, que una vez chocan con la superficie de la tierra se regresan al espacio, ocasionando así un aumento de la temperatura terrestre la cual compromete seriamente su equilibrio.

Aunque son muchas las variables que influyen en el clima del planeta, el calentamiento global por efecto invernadero se perfila como la mayor amenaza para la vida. Entre los gases destaca el CO_2 , sin embargo existen otros asociados al consumo y producción de energía que también influyen, como son el metano, el óxido nitroso y el nitrógeno, aunque todos ellos en menor medida que el CO_2 . A continuación en la Tabla N° 1, se observa la influencia de cada uno de ellos.

Emisiones a la atmósfera	Cuota correspondiente al sector energético
Flujo de metano (CH_4)	Una cuarta parte de las emisiones totales
Flujos de óxido nitroso	Una quinta parte de las emisiones totales debido a la combustión de combustibles fósiles
Fijación del nitrógeno (como NO_x , NH_4)	Una tercera parte de las emisiones totales
Flujos de dióxido de carbono (CO_2)	Las 4/5 partes del total son atribuibles a la combustión de combustibles fósiles y la deforestación

Tabla N° 1.-Porcentaje de gases principales de efecto invernadero liberado a la atmósfera correspondientes al sector energético. Fuente: PNUD, 2010.

■ Contaminación atmosférica

La utilización de la energía es la mayor fuente de emisión de contaminantes a la atmósfera. Con datos para el caso de la unión Europea (IEA, 2008), el uso de la

energía es responsable de un 90% de las emisiones de dióxido de azufre (SO_2), cerca del 100% de las emisiones de óxidos de nitrógeno (NO_x), 50% de las emisiones de hidrocarburos que no contienen metano y 85% de las partículas emitidas a la atmósfera, lo cual no discrepa mucho de la realidad mundial, como se muestra en la Tabla N° 2.

Emisiones a la atmósfera	Cuota correspondiente al sector energético
Emisiones de azufre a la atmósfera	El 90% de la emisiones provienen de la combustión de combustibles fósiles tradicionales
Flujos de óxido nitroso a la atmósfera	Una quinta parte por la combustión de combustibles fósiles
Fijación del nitrógeno (como NO_x , NH_4)	Una tercera parte de la emisiones totales
Emisiones de partículas a la atmósfera	El 45% de las emisiones totales provienen de la quema de combustibles fósiles
Emisiones de hidrocarburos que no contienen metano	El 40% de las emisiones totales son debidas al uso de combustibles fósiles

Tabla N° 2.- Porcentaje de otras emisiones liberadas a la atmosfera correspondientes al sector energético.
Fuente: PNUD, 2010.

Esta contaminación de la atmosfera ocasiona una serie de fenómenos que perjudican el ambiente y la salud humana, entre los que se pueden destacar:

- Lluvia ácida (Acidificación): Los óxidos (de azufre y de nitrógeno) emitidos a la atmósfera se mezclan con el vapor de agua existente en ella siendo transportados en forma de nubes a otras zonas que incluso pudiesen estar a miles de kilómetros de su punto de origen. Al precipitarse en forma de lluvia, el agua acidificada puede ocasionar daños a los sistemas naturales, a las cosechas y en general, puede alterar la composición y función de distintos ecosistemas a nivel mundial.
- Contaminación del aire: Provocada por la elevada concentración de óxido de azufre y partículas en suspensión. Estas partículas actúan como núcleos de condensación del vapor de agua en condiciones de humedad elevada y bajas temperaturas con un

fuerte impacto en la salud, ocasionando problemas respiratorios graves y en algunos casos problemas cardíacos.

También, en climas cálidos, debido a las concentraciones de óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles junto con una fuerte radiación solar, se suelen generar altas concentraciones de ozono superficial, afectando la función pulmonar, el tracto respiratorio y los ojos (Adame, 2012).

- Sustancias cancerígenas: Son todas aquellas que provocan o favorecen la aparición de cáncer. Entre ellas se pueden destacar el benceno y el alquitrán.

■ Otros efectos al ambiente

Otros efectos negativos asociados a la producción y consumo de la energía son la contaminación de las aguas por el vertido de aceites u otros productos provenientes del petróleo, la emisión de metales pesados o la fijación del nitrógeno responsable de la eutrofización de los ecosistemas acuáticos Tabla N° 3.

Emisiones y vertidos	Cuota correspondiente al sector energético
Emisiones de plomo a la atmósfera	En torno al 42% provienen de la combustión de combustibles fósiles, incluidos los aditivos
Emisiones de cadmio a la atmósfera	En torno al 18% provienen de la combustión de combustibles fósiles
Emisiones de mercurio a la atmósfera	Una quinta parte por la combustión de combustibles fósiles
Fijación del nitrógeno (como NO _x , NH ₄)	Una tercera parte de la emisiones totales
Aceite vertido a los mares	Aproximadamente el 45% del total

Tabla N° 3.- Porcentaje de otras emisiones liberadas a la atmosfera, la tierra y el agua, correspondientes al sector energético. Fuente: PNUD, 2010.

- Emisión de metales pesados: Son metales con densidad aproximada de 5 g/cm^3 como el plomo, el mercurio y el cadmio. Considerados sustancias tóxicas, persistentes y bioacumulativas (TPB), es decir no se degradan y los seres vivos no

cuentan con sistemas para eliminarlos de su organismo, por lo que se consideran altamente peligrosos.

- Eutrofización: Como proceso de acumulación de nutrientes en las aguas con el consiguiente crecimiento masivo de organismos y la disminución de la concentración de oxígeno.

En este sentido, queda clara la importancia de contribuir en la mitigación de los impactos asociado a la producción y consumo de energía, con una política que abarque los distintos ámbitos de la sociedad, con miras en el establecimiento de un modelo de desarrollo sostenible, que en definitiva, conlleve a un nuevo equilibrio planetario.

1.4.- Las edificaciones frente al consumo energético y el cambio climático.

EL sector de la construcción es un sector clave para el logro de un desarrollo sostenible. La construcción, uso y demolición de las edificaciones generan beneficios sociales y económicos, sin embargo, también es responsable de impactos negativos de gran magnitud, en particular en el ambiente.

Más de la mitad de la población mundial vive en zonas urbanas, y más del 80% de la población vive en países en desarrollo (ONU, 2008). Debido al crecimiento de la población y el desarrollo económico, las edificaciones poseen cada vez mayor importancia.

En el año 2010 el sector de las edificaciones consumió 32% (24% uso residencial y el 8% uso comercial) de la energía primaria mundial (IEA, 2013). Asimismo, estudios llevados a cabo por la OECD en 2012, sugieren que los sectores residencial y comercial son responsables de alrededor del 37% de la energía primaria que se consume en los países de la OECD, y de 36% de la energía que se consume a nivel mundial (Figura N° 9).

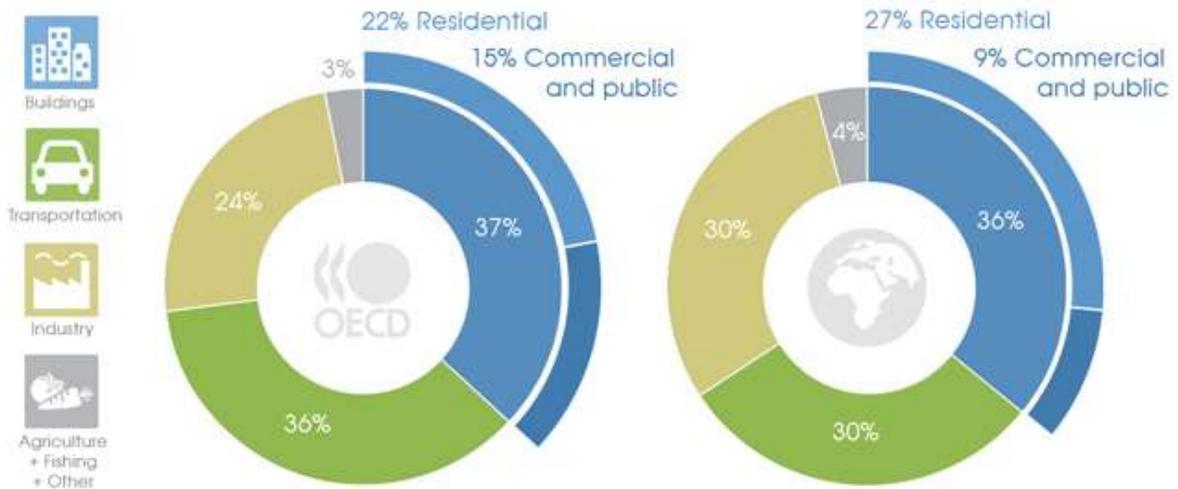


Figura N° 9.- Usos finales de la energía primaria por sectores, tanto en países de la OECD como a nivel mundial. Fuente: IEA, 2013.

Sin embargo, estos datos responden al promedio del total de países estudiados, por lo que si se revisa más detenidamente se observarán variaciones importantes entre países y regiones. En este sentido, un estudio realizado por el World Resources Institute (Bradley et al, 2005), permite obtener una idea más cercana del consumo de energía asociado a las edificaciones en al menos 8 regiones a nivel mundial, incluyendo de manera global, al grupo de países desarrollados y en vía de desarrollo (Figura N° 10)

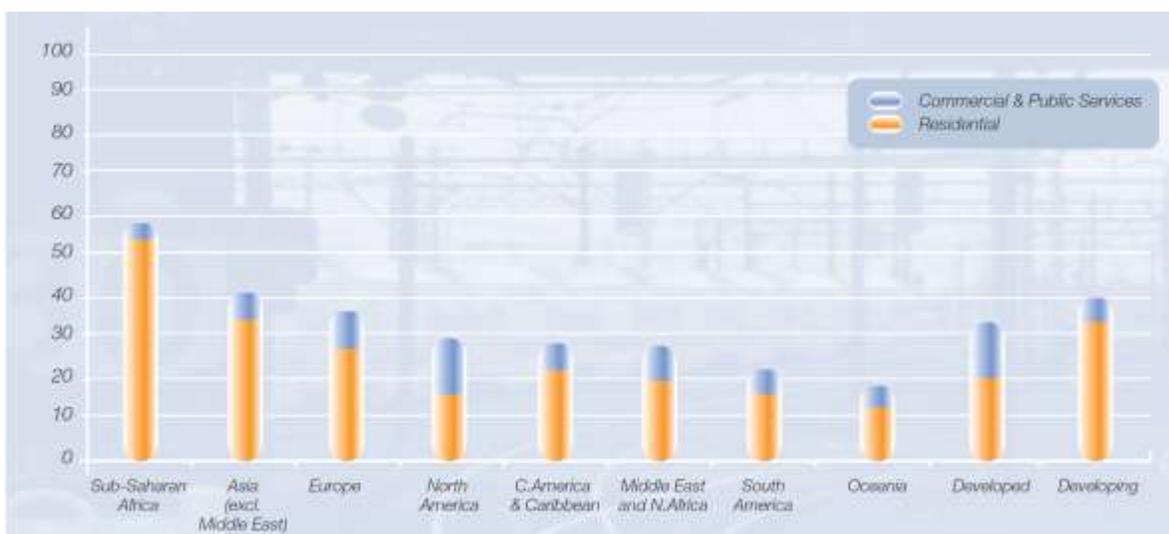


Figura N° 10.- Consumo de energía asociado a las edificaciones en distintas zonas a nivel mundial tanto para edificios comerciales como residenciales. Fuente: Bradley et al, 2005.

Se estima que el consumo mundial de energía en el sector de las edificaciones siga creciendo, en especial por el aumento de la demanda de vivienda y oficinas en los países en desarrollo (PNUD, 2009), Sin embargo (IEA, 2013) a través de un estudio del consumo de energía en edificaciones residenciales y comerciales en once regiones a nivel mundial, se concluye que a pesar de un aumento sostenido del consumo desde 1990, la mayoría de las regiones evaluadas registran crecimientos del consumo per cápita moderados, lo que sugiere la comprensión de la necesidad del uso eficiente de la energía en las edificaciones, con excepción de algunas regiones como la antigua unión soviética, el norte de África y oriente medio, quienes sí registraron un aumento significativo en el consumo de energía per cápita (Figura N° 11).

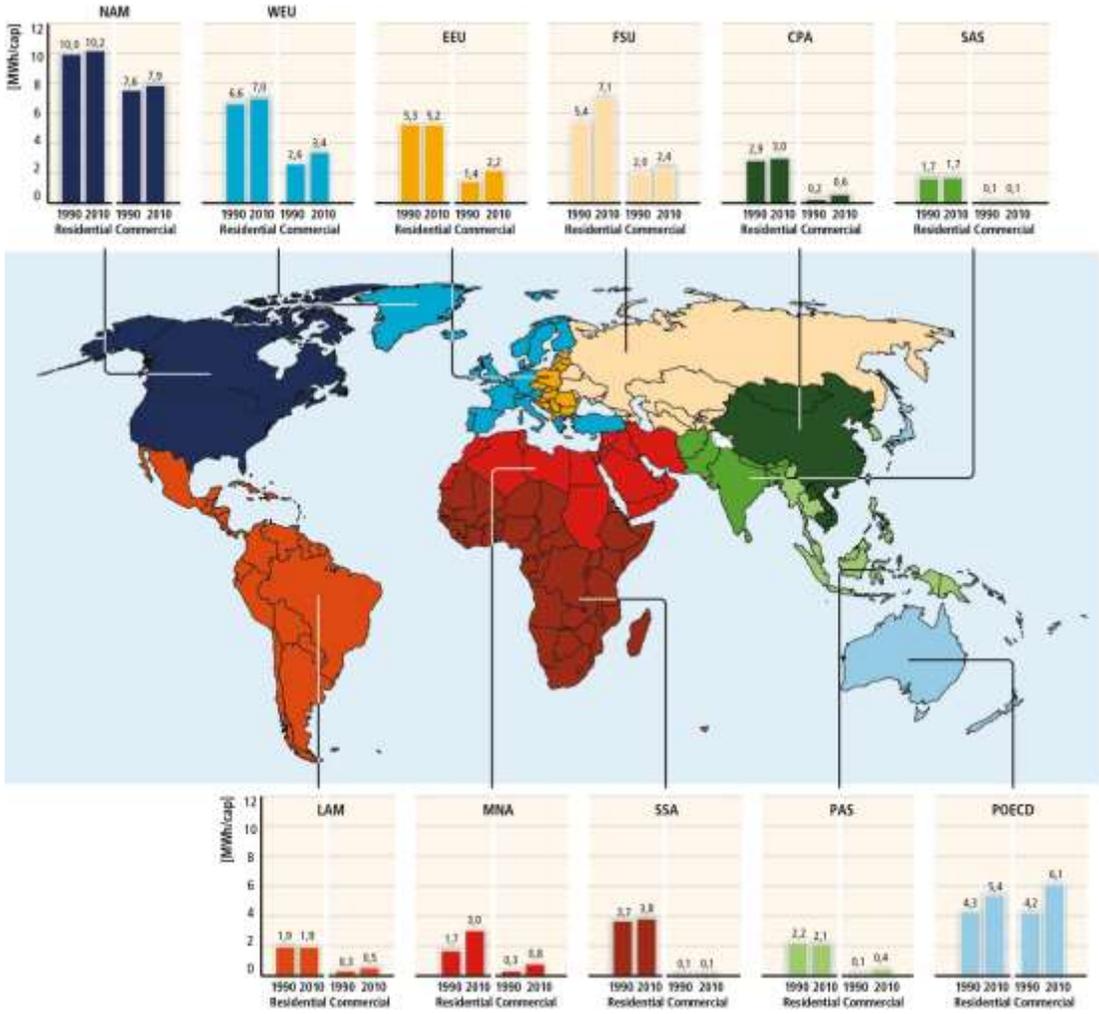


Figura N° 11.- Consumo de energía per cápita anual para edificios residenciales y comerciales en once regiones, años 1990 – 2010. Fuente: IEA, 2013.

En lo que respecta al sector construcción, los GEI se han duplicado desde 1970 hasta alcanzar $9,18 \text{ GtCO}_2 - eq$ en 2010 (Figura 12), lo cual representó el 19% del total de las emisiones globales de GEI para ese año.

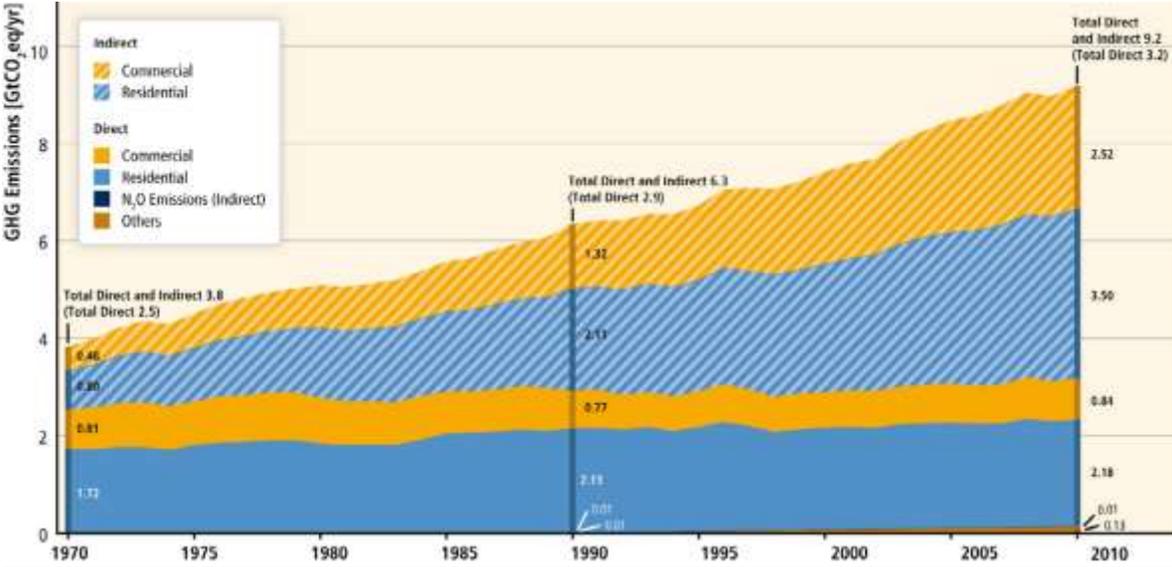


Figura N° 12.- Emisiones directas e indirectas (de producción de electricidad y calor) en el sector de las edificaciones. Fuente: IEA, 2012.

La mayor parte de las emisiones de GEI ($6,02 \text{ Gt}$) son emisiones indirectas de CO_2 por el uso de la electricidad en los edificios, lo que demuestra un gran crecimiento de la demanda, en contraste con las emisiones directas que se han mantenido estables. Por ejemplo, las emisiones indirectas residenciales se quintuplicaron, mientras las comerciales se cuadruplicaron.

En la Figura N° 13 se muestra las tendencias regionales en las emisiones de $\text{CO}_2 \text{ eq}$ relacionadas con la construcción. Los países pertenecientes a la OECD registran las emisiones más altas, pero el crecimiento en esta región entre 1970 y 2010 ha sido moderado. Para los países menos desarrollados las emisiones son bajas y con poco crecimiento, mientras el mayor crecimiento ha tenido lugar en Asia, donde las emisiones en 1970 fueron similares a los de otras regiones en desarrollo, pero en la actualidad se están acercando a la de los países de la OECD.

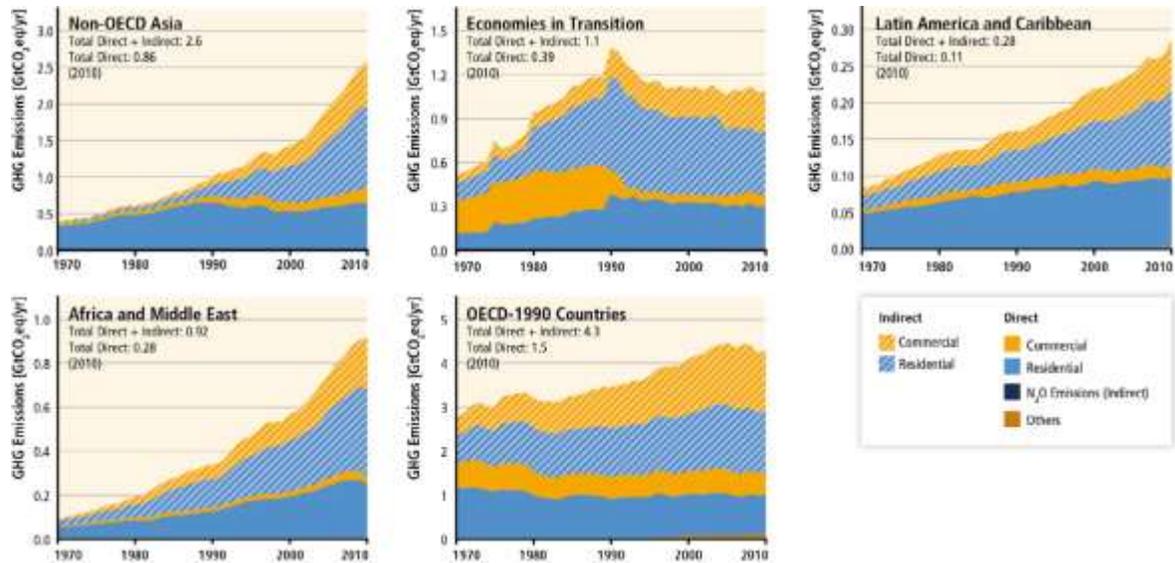


Figura N° 13.- Emisiones directas e indirectas (de producción de electricidad y calor) en el sector de las edificaciones a nivel de regiones. Fuente: IEA, 2012.

Específicamente en el campo de las edificaciones se entiende que el mayor peso de las emisiones de CO₂ corresponde al uso de la energía eléctrica tal y como se muestra en la Figura N° 14 (Columna izquierda), mientras que las emisiones asociadas a la combustión directa de combustibles fósiles (Columna derecha) son mucho menores.

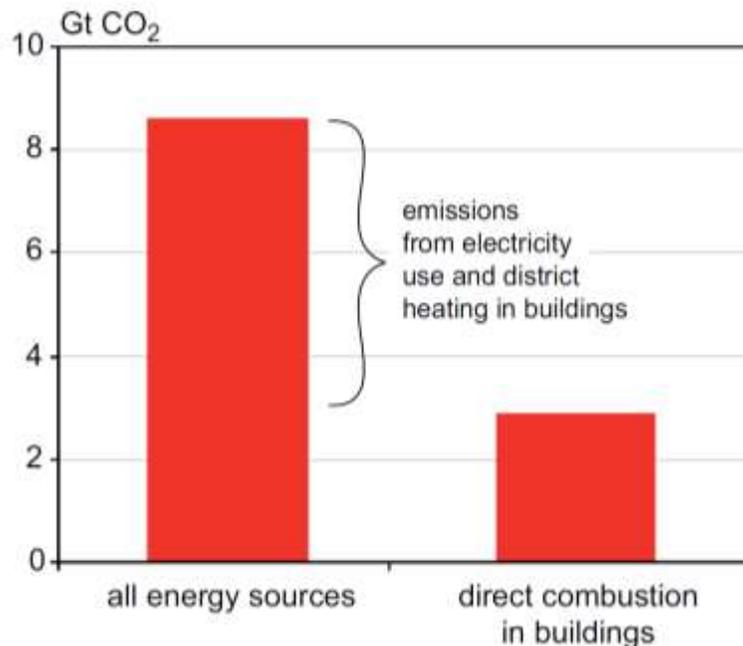


Figura N° 14.- Emisiones de CO₂ asociadas a la energía Fuente: Price et al. 2006.

De acuerdo con el Cuarto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2007), las emisiones de CO_2 relacionadas con las edificaciones (incluyendo el uso de la electricidad) podría aumentar de 8,6 mil millones de toneladas en 2004 hasta 11,4 mil millones de toneladas en 2030 en un escenario de bajo crecimiento, mientras, en un escenario de alto crecimiento esa cifra se ubicaría en 15,6 mil millones para el año 2030 (Levine et al. 2007). En ambos casos, se espera que el sector construcción tenga una contribución de al menos 30% en las emisiones de CO_2 totales a nivel mundial.

El aumento de las emisiones en su mayoría provendrá de los países en desarrollo. Asia, Oriente Medio, África del Norte y América Latina, por lo que se espera que todos tengan incrementos sustanciales en las emisiones de CO_2 referentes al sector de la construcción, tal y como se observa en la Figura N° 15 que representa el escenario de alto crecimiento estimado en el informe IPCC, 2007.

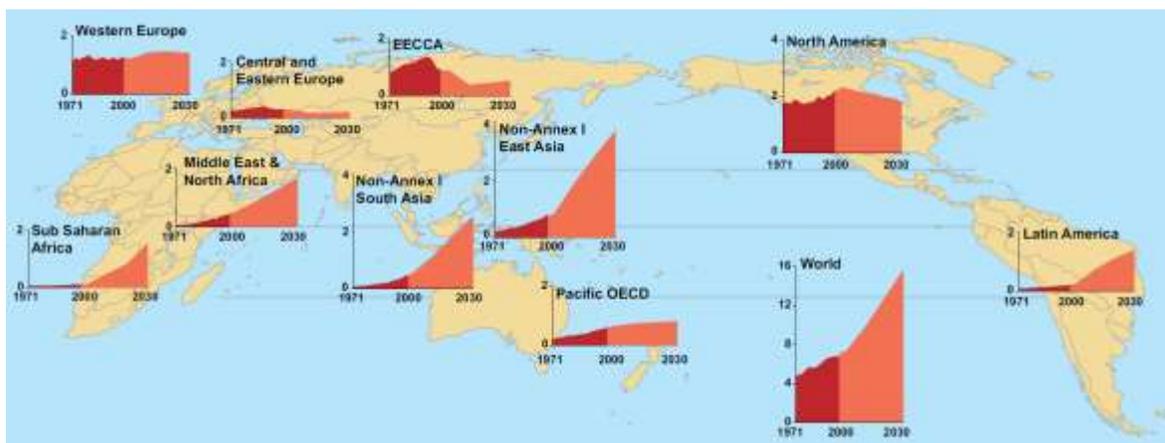


Figura N° 15.- Emisiones de CO_2 de las edificaciones (incluyendo el uso de la electricidad), con el escenario de alto crecimiento IPCC. Fuente: IPCC, 2007.

A pesar del panorama anterior, y con base en una investigación fundamentada en 80 estudios realizados a nivel mundial (Levine, et al. 2007), que fueron compilados en el cuarto informe de evaluación sobre cambio climático 2007 (IPCC, 2007), demuestra la existencia de un potencial global para la reducción aproximada de 29% de las emisiones GEI asociadas a edificios residenciales y comerciales para el año 2020 y 31% para el año 2030, siendo estos no solo los porcentajes más altos de

todos los sectores estudiados, sino también los más factibles desde el punto de vista económico (Tabla N° 4).

Sector	Mitigation option ^{d)}	Region	Economic potential <100 US\$/tCO ₂ -eq ^{e)}		Economic potential in different cost categories ^{d), e)}			
			Cost cat. US\$/tCO ₂ -eq		<0	0-20	20-50	50-100
			Cost cat. US\$/tC-eq		<0	0-73	73-183	183-367
			Low	High	Gt CO ₂ -eq			
Energy supply ^{e)} (see also 4.4)	All options in energy supply excl. electricity savings in other sectors	OECD	0.90	1.7	0.9		0.50	0
		EIT	0.20	0.25	0.15		0.06	0
		Non-OECD/EIT	1.3	2.7	0.80		0.90	0.35
		Global	2.4	4.7	1.9		1.4	0.35
Transport ^{e), f), g)} (see also 5.6)	Total	OECD	0.50	0.55	0.25	0.25	0	0
		EIT	0.05	0.05	0.03	0	0	0.02
		Non-OECD/EIT	0.15	0.15	0.10	0.03	0.02	0
		Global ^{h)}	1.6	2.5	0.35	1.4	0.15	0.15
Buildings (see also 6.4) ^{f), h)}	Electricity savings	OECD	0.8	1.0	0.95	0.00	0	
		EIT	0.2	0.3	0.25	0	0	
		Non-OECD/EIT	2.0	2.5	2.1	0.05	0.05	
	Fuel savings	OECD	1.0	1.3	0.85	0.15	0.15	
		EIT	0.6	0.8	0.2	0.15	0.35	
		Non-OECD/EIT	0.7	0.8	0.65	0.10	0.01	
	Total	OECD	1.8	2.3	1.8	0.15	0.15	
		EIT	0.9	1.1	0.45	0.15	0.35	
		Non-OECD/EIT	2.7	3.3	2.7	0.15	0.10	
		Global	5.4	6.7	5.0	0.50	0.60	
Industry (see also 7.5)	Electricity savings	OECD	0.30		0.07		0.07	0.15
		EIT	0.08		0.02		0.02	0.040
		Non-OECD/EIT	0.45		0.10		0.10	0.25
	Other savings, including non-CO ₂ GHG	OECD	0.35	0.90	0.30		0.25	0.05
		EIT	0.20	0.45	0.08		0.25	0.02
		Non-OECD/EIT	1.2	3.3	0.50		1.7	0.08
Total	OECD	0.60	1.2	0.35		0.35	0.20	
EIT	0.25	0.55	0.10		0.25	0.06		
Non-OECD/EIT	1.6	3.8	0.60		1.8	0.30		
Global	2.5	5.5	1.1		2.4	0.55		
Agriculture (see also 8.4)	All options	OECD	0.45	1.3	0.30		0.20	0.30
		EIT	0.25	0.65	0.15		0.10	0.15
		Non-OECD/EIT	1.6	4.5	1.1		0.75	1.2
		Global	2.3	6.4	1.6		1.1	1.7
Forestry (see also 9.4)	All options	OECD	0.40	1.0	0.01	0.25	0.30	0.25
		EIT	0.09	0.20	0	0.05	0.05	0.05
		Non-OECD/EIT	0.75	3.0	0.15	0.90	0.55	0.35
		Global	1.3	4.2	0.15	1.1	0.90	0.65
Waste (see also 10.4)	All options	OECD	0.10	0.20	0.10	0.06	0.00	0.00
		EIT	0.10	0.10	0.05	0.05	0.00	0.00
		Non-OECD/EIT	0.20	0.70	0.25	0.07	0.10	0.04
		Global	0.40	1.0	0.40	0.18	0.10	0.04
All sectors ⁱ⁾	All options	OECD	4.9	7.4	2.2	2.1	1.3	1.1
		EIT	1.8	2.8	0.55	0.65	0.50	1.0
		Non-OECD/EIT	8.3	16.8	3.3	3.6	4.1	2.4
		Global	15.8	31.1	6.1	7.4	6.0	4.5

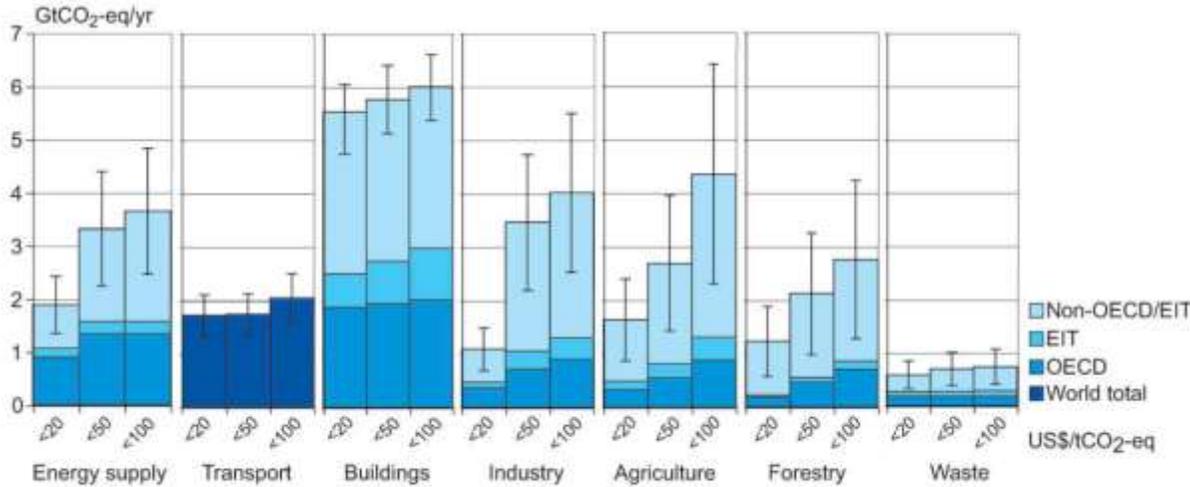
Notes:

- a) Several reduction options are not included due to limited literature sources. This underestimation could be about 10–15%; see below.
- b) For transport, the regional data by cost category do not add up to the global potential; regional (cost) distribution is available for LDV only. Due to the lack of international agreement about the regional allocation of aviation emissions, only global cost distributions are available for aviation. A lack of data means that only global figures are presented for biofuels, and not cost distribution.
- c) The ranges indicated by the potential are derived differently for each chapter. See underlying chapters for more information.
- d) The economic potential figures per cost category are mid-range numbers.
- e) The mitigation potential for the use of biomass is allocated to the transport and power sector. See the discussion on biomass energy in 11.3.1.4.
- f) For the buildings sector the literature mainly focuses on low-cost mitigation options, and the potential in high-cost categories may be underestimated. The zero may represent an underestimation of the emissions.
- g) The '0' means zero, 0.00 means a value below 5 Mton.
- h) The electricity savings in the end-use sectors Buildings and Industry are the high estimates. The electricity savings would be significantly lower if the order of measurement were to be reversed; the substitution potential in the energy sector would have been assessed before electricity savings (see Appendix 11.1).
- i) The tourism sector is included in the buildings and the transport sector.

Tabla N° 4.- Potencial Estimado para la mitigación de los GEI a nivel sectorial en 2030, por categorías y costos.
Fuente: IPCC, 2007.

Entre otros aspectos, el estudio precisa que por concepto de ahorro energético en edificaciones, solo los países en vías de desarrollo tendrían un potencial de reducir 2,1 millones de toneladas de CO_2 sin costo para el año 2030, lo que representa casi el doble del potencial combinado de los países miembros OECD y los países con economías en transición (EIT). Así como un 42% del potencial total de ahorro de todo el sector.

Asimismo, incluyendo todo el ciclo de vida de la edificaciones en el estudio, éstas pudiesen ser responsables de disminuir para el año 2030, 5 millones de toneladas de CO_2 a un costo marginal menor a cero, con un adicional de 0,5 y 0,6 millones de toneladas de CO_2 a un costo menor de 20 y 100 US \$ / tonelada equivalente de CO_2 , respectivamente (Figura N° 16). Vale acotar que entre todos los sectores económicos evaluados, más del 80% de las posibilidades de reducciones alcanzables sin costo corresponden al sector de las edificaciones.



Note: The mitigation potentials under each cost category are cumulative.

Figura N° 16.- Potencial de reducción de emisiones de CO_2 en diferentes sectores para el año 2030 en función del costo asignado a las medidas de reducción (EE.UU. \$ / tonelada de CO_2 equivalente). Fuente: Metz, et al., 2007.

Ahora bien, al ser muchos los factores que interviene en el consumo energético de las edificaciones a lo largo de su ciclo de vida, se hace fundamental acotar las etapas más representativas, para así poder obtener una comprensión detallada del problema, a la vez de plantear soluciones más objetivas.

Según Jone (1998) a lo largo del ciclo de vida de las edificaciones se pueden identificar cinco fases fundamentales que permiten realizar una estimación más particularizada del consumo de energía en un edificio. La primera corresponde a la fabricación de materiales y componentes, y se denomina energía incorporada. Las segunda y tercera fases corresponden a la energía utilizada para el transporte de materiales desde las plantas de producción al lugar de construcción, junto a la energía utilizada en la propia construcción del edificio, conocidas como energía gris y energía inducida respectivamente. En cuarto lugar se encuentra la energía que se consume en la fase de funcionamiento del edificio (por lo general estimado en 60 años, aunque esta cifra varía de un país a otro). Y finalmente, la energía que se consume en los procesos de demolición y/o reciclaje cuando esto sea posible; Obteniendo finalmente un comportamiento como el que se representa en el gráfico de la Figura N° 17.

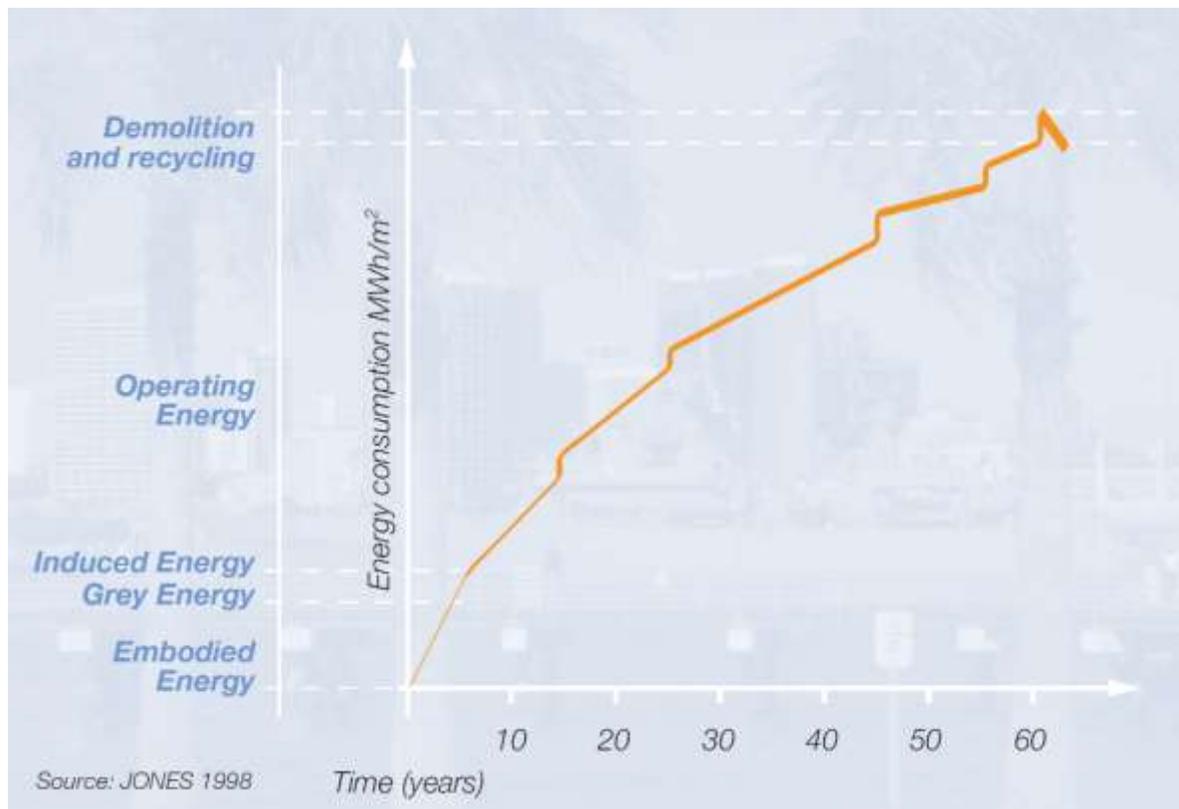


Figura N° 17.- Energía consumida en el ciclo de vida de un edificio, con un estimado de 60 años. Fuente: Jone, 1998.

Otros estudios e iniciativas también han utilizado las evaluaciones del ciclo de vida para medir los impactos del consumo de energía en los diferentes tipos de construcción de una manera cuantitativa. En el libro “Building and climate change” publicado por las naciones unidas en 2007, se compilaron tres experiencias en este sentido, logrando unificar los resultados de cada estudio en un gráfico comparativo de gran interés (Figura N° 18). Dichos estudios responden a: (Junnila, 2004), quien utiliza el método de valoración del ciclo de vida (LCA) para estudiar el impacto ambiental de cuatro edificios de oficinas (Uno en EEUU y tres en Finlandia). Otro de científicos japoneses con valores similares (Suzuki et al. 1998), y finalmente una investigación realizada en Suecia (Adalberth et al. 2001) centrada solo en edificios residenciales.

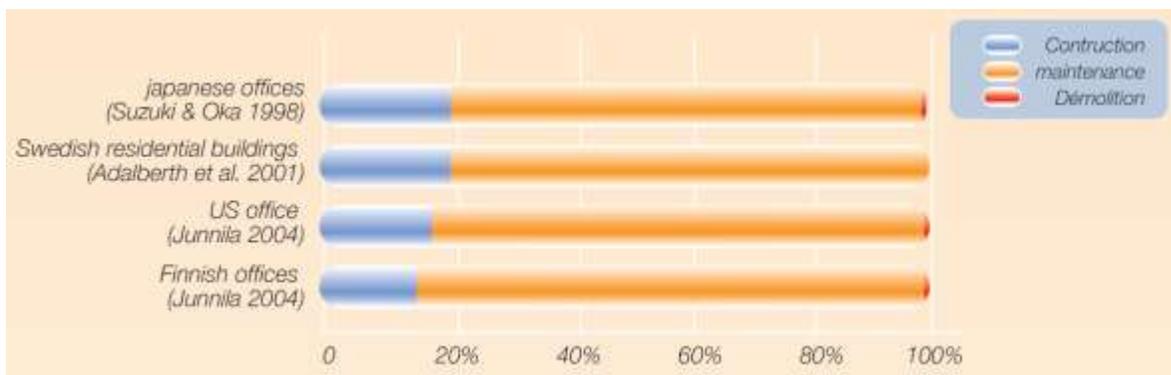


Figura N° 18.- Consumo de energía por fase del ciclo de vida en algunos edificios residenciales y comerciales.
Fuente: PNUD, 2007.

En definitiva, como se puede observar tanto en la Figura N° 17 como en la Figura N° 18, el mayor consumo de energía en una edificación ocurre durante su funcionamiento. Sin embargo, el patrón de uso final de la energía en un edificio, se verá condicionado a distintos factores como el tipo de uso, la zona climática donde se ubica, el nivel de desarrollo económico de la región, los aspectos culturales y religiosos, etc.

1.5.- Climatización de edificaciones como elemento fundamental.

El aumento del consumo de energía, junto a las emisiones de CO_2 y otros gases de efecto invernadero en el sector de las edificaciones, ha llevado a los países a tomar el tema de la eficiencia energética y ahorro de energía como prioritario en la mayoría de sus políticas energéticas, proliferando gran cantidad de trabajos científicos y estadísticos que buscan cuantificar los usos finales de la energía en las edificaciones, con el fin de contribuir en la mitigación del consumo en cada una de las áreas de posible actuación.

En este sentido, un estudio realizado por (PNUD, 2007), que busca demostrar el uso final de la energía en edificios residenciales y comerciales en distintos países, concluyó que el mayor consumo registrado en casi la totalidad de los países consultados corresponde a la climatización de los espacios construidos (calefacción, ventilación y aire acondicionado o (HVAC por sus siglas en inglés) (Figura N° 19).



Figura N° 19.- Diferentes usos finales de la energía en los edificios residenciales y comerciales de algunos países. Fuente: PNUD, 2007.

El IEA por su parte, en su informe “World Energy Outlook 2013” (IEA, 2013) presenta una gráfica con los usos finales de la energía más representativos para edificaciones residenciales y comerciales con datos del año 2010, ubicándose igualmente la climatización como el rubro de mayor peso con un 34% y 40% respectivamente (Figura N° 20).

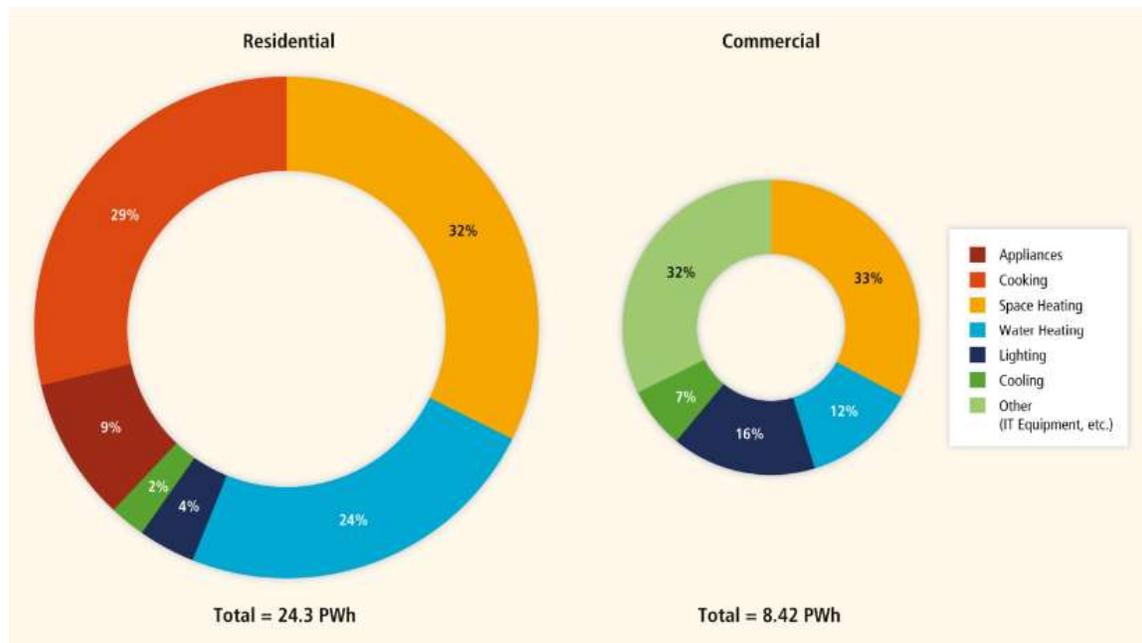


Figura N° 20.- Consumo por uso final de energía en edificaciones residenciales y comerciales a nivel mundial. Fuente: IEA, 2013.

Del mismo modo, en una investigación desarrollada por Pérez et al (2008), luego de la evaluación de los usos finales de la energía en edificios residenciales de España, EEUU, El Reino Unido y Europa en su conjunto, observa que la climatización ha desplazado aquellos usos que tradicionalmente eran mayores como la iluminación y el agua caliente (Tabla N° 5).

Energy consumption by end uses in the residential sector

End uses in the residential sector (%)	Spain	UE	USA	UK
Space conditioning	42	68	53	62
Domestic hot water (DHW)	26	14	17	22
Lighting and appliances	32	18	30	16

Tabla N° 5.- Consumo de energía por usos finales en el sector residencial. Fuente: Pérez et al., 2008

Lo mismo ocurre en edificios no residenciales, donde a pesar de su variedad de usos, la climatización obtiene el mayor peso en todas las tipologías arquitectónicas estudiadas (Pérez et al, 2008), (Figura N° 21).

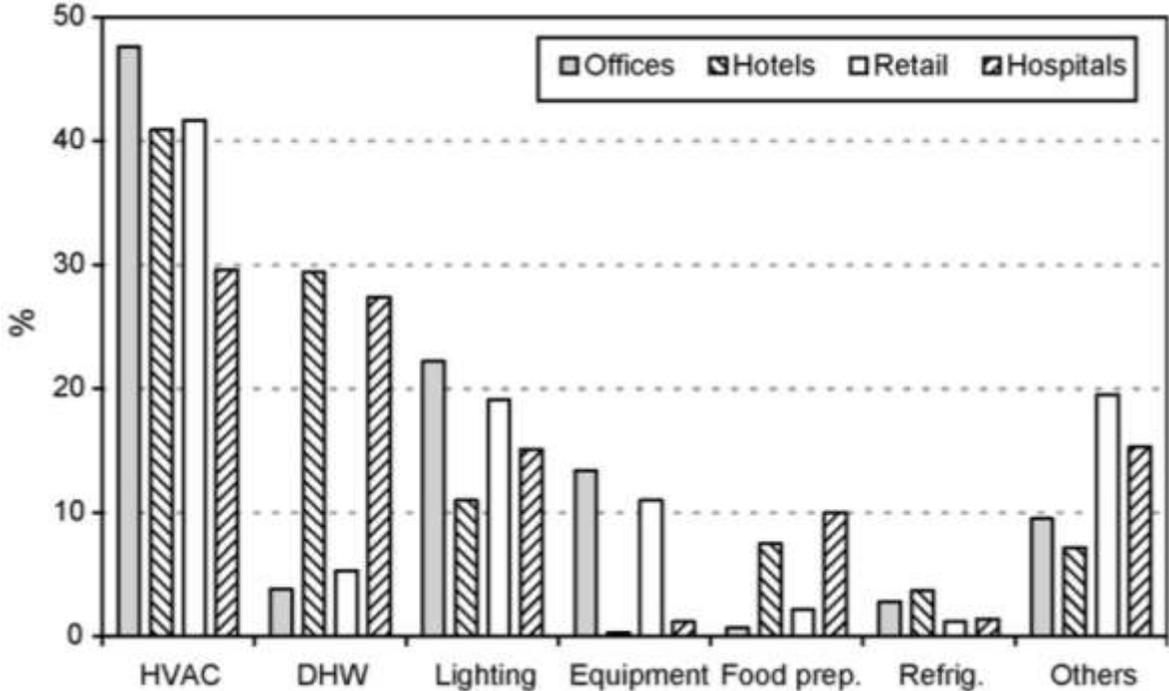


Figura N° 21.- Consumo final de energía en diferentes tipologías de edificios no residenciales. Fuente: Pérez et al., 2008

Sin embargo, a pesar de los estudios anteriores, la obtención de datos precisos respecto a la climatización de las edificaciones y sus implicaciones en la matriz energética nacional, regional o mundial son escasos, lo que se dificulta ampliamente su planificación y actuación en pro de mitigar sus impactos. En todo caso, Pérez et al, (2008) sugiere que en las naciones desarrolladas la climatización representa la mitad de la energía consumida por los edificios, y entre la quinta y décima parte de la energía total. Además, en el informe “Energy Efficiency and Certification of Central Air Conditioners” (Adnot et al, 2003) se estima un marcado crecimiento del consumo y la superficie climatizada, que para el caso de la Unión Europea pudiese representar un aumento del 50% en 15 años.

Respecto al crecimiento de la demanda mundial por concepto de climatización en las edificaciones, y la necesidad de predecir cuál va a ser su comportamiento futuro, Sivak, (2013) llevó a cabo un análisis en 170 países tomando en consideración su tipo de clima y población, para así estimar a través del índice de enfriamiento grados-día, cuál sería la demanda de energía por aire acondicionado en cada país estudiado si éstos siguieran los patrones de consumo de los EEUU.

En una primera instancia los resultados arrojaron que de los 25 países con mayor requerimiento de enfriamiento, 14 de ellos se encuentran en Asia, 7 en África, 2 en Norte América y 2 en Sur América, mientras que 22 de ellos son países en vías de desarrollo.

Asimismo, se observó que 5 países pudiesen superar moderadamente el consumo actual de los EEUU por concepto de enfriamiento de edificaciones, mientras que la India, China e Indonesia podrían superarlo en una proporción de 14, 5,2, y 3,1 veces respectivamente (Figura N° 22).

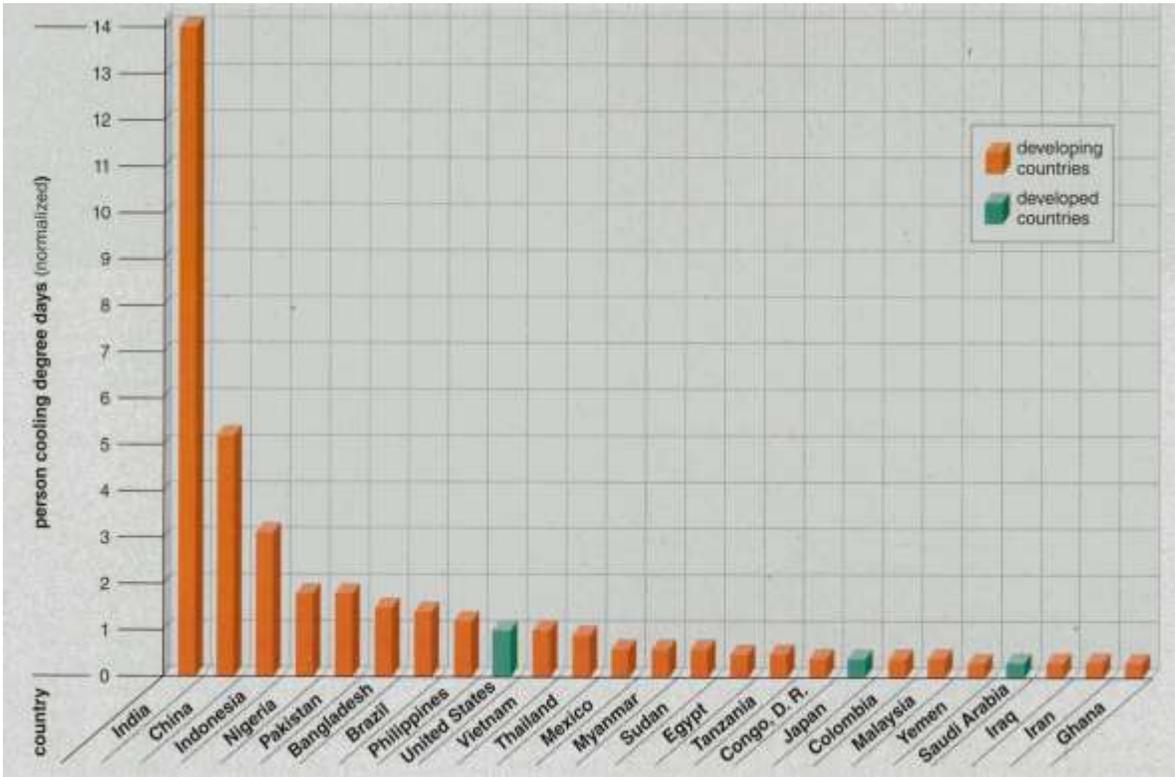


Figura N° 22.- Potencial de demanda de energía por índice de enfriamiento grados-día, por país. Fuente: Sivak, 2013.

El estudio finaliza acotando que se espera que los países en desarrollo, que además se encuentran en su mayoría en climas cálidos, accedan cada vez más al uso de equipos de aire acondicionado en respuesta al aumento generalizado de la calidad de vida, lo que ocasionará un indiscutible aumento en la demanda por climatización a nivel mundial. Destaca igualmente el caso de la India y China, quienes en conjunto podrían superar 20 veces el consumo actual de EEUU por concepto de enfriamiento, siendo éste el mayor consumidor en la actualidad. Pero si se consideran los 169 países estudiados exceptuando a los EEUU, la demanda de energía sería 45 veces mayor a la de EEUU hoy día.

Al mismo tiempo, se espera que el cambio climático propicie el aumento en la demanda de energía por concepto de enfriamiento de edificaciones. Nigel (2011) afirma que para el año 2100, solo por efecto del calentamiento global se prevé un aumento en la demanda por climatización en 72%.

En todo caso, la evidencia científica demuestra la necesidad presente y futura, de profundizar en el área de la climatización de las edificaciones, como elemento fundamental para la disminución del consumo energético, con miras en el logro de la sostenibilidad en la arquitectura.

1.6.- La sostenibilidad como aspecto sociopolítico y la necesidad de avanzar en su evaluación y medición.

Luego de publicarse las conclusiones de numerosas deliberaciones y audiencias públicas en el documento “Nuestro futuro común”, conocido como el informe Brundtland (ONU, 1987), se formaliza por primera vez el término “Desarrollo Sostenible”, marcando un hito que puso en evidencia la preocupación por la problemática ambiental a nivel global.

Luego de su publicación, fueron muchas las discusiones sobre el tema del desarrollo sostenible, destacando la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (CNUMAD) conocida también como Cumbre de la Tierra, celebrada en Río de Janeiro en 1992. Esta conferencia se consideró como una

plataforma de lanzamiento con vistas al establecimiento de políticas y acciones dirigidas hacia el desarrollo sostenible en las que todas las naciones del mundo participarían. Así, la Conferencia de Río de 1992 consagró definitivamente el concepto de desarrollo sostenible como marco de referencia esencial para las políticas del nuevo milenio.

El plan de acción propuesto conocido como Agenda 21, constituyó un importante paso para el inicio de un proceso que contribuiría al logro de los objetivos de la sostenibilidad, propiciando la aplicación de iniciativas a nivel local que repercutirían globalmente. Entre las actividades propuestas en la Agenda 21, destaca la mejora de los procesos de toma de decisiones. En ese sentido, entre otras directrices, el documento acordado dictaminaba que deben ser elaborados sistemas para la vigilancia y la evaluación de los progresos hacia el logro del desarrollo sostenible mediante la adopción de indicadores que midan los cambios en todo el espectro económico, social y ecológico (ONU, 1992). Con el objeto de llevar a la práctica las medidas acordadas, se encargó al Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUMA) el establecimiento de un conjunto de indicadores de sostenibilidad que permitiesen evaluar el avance de dichas medidas (PNUMA, 1995).

Sin embargo, en la siguiente década poco se avanzó respecto a lo acordado en la Cumbre de Río de Janeiro. La traducción de las medidas en forma de acciones y actividades a nivel local resultó ser el mayor obstáculo, por lo que la mayoría de los países firmantes se les imposibilitó su aplicación. En conjunto, no se ha constatado el esperado cambio en las formas de producción que contribuirían al desarrollo sostenible (Vanloon et al., 2005).

De ese modo, en el año 2002, diez años después de la Conferencia de Río, se celebró en Johannesburgo la Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible (Conferencia Rio+10) con el objetivo de evaluar los progresos alcanzados. En la Conferencia se hizo hincapié en el papel fundamental de la ciencia como una herramienta para abordar las cuestiones de desarrollo sostenible, al objeto de orientar en el diseño e implementación de las políticas públicas. Algunas de las herramientas de nueva generación acordadas en la Conferencia Rio+10 que

incluían: 1.- los marcos metodológicos para el análisis de la sostenibilidad; 2.- los indicadores y los índices de sostenibilidad; y 3.- las formas específicas de análisis basándose en indicadores seleccionados a partir de los principales marcos metodológicos (ONU, 2002).

En este sentido, los métodos de evaluación de la sostenibilidad en las edificaciones han experimentado un gran auge. El panorama actual es muy extenso, ya que muchos países han generado sistemas de evaluación propio, muchos de ellos con vocación de universalidad, al haber trascendido su uso de las fronteras nacionales (como es el caso del LEED, por ejemplo). Sin embargo, otros sistemas tienen como meta un uso exclusivamente local, adecuando sus características a las especificidades del lugar y convertirlo en un sistema de referencia únicamente válido para un entorno próximo.

En ocasiones, algunos de estos sistemas han ido evolucionando y conociendo distintas versiones, ampliando las tipologías específicas hacia las que se dirigen. En otras ocasiones, un país se ha inspirado en el sistema de evaluación empleado por otro país para adaptarlo a sus propias necesidades (este ha sido el caso, por ejemplo, del BREEAM, que nació en Reino Unido como pionero de los sistemas de evaluación de la sostenibilidad de las edificaciones, y luego fue adaptado en Canadá y reconvertido posteriormente en otro sistema independiente conocido como Green Globes). Otros sistemas de evaluación como la herramienta VERDE, no se han terminado de desvincular de su sistema de origen, el SBTool, constituyendo una adaptación a las particularidades nacionales.

Por ello, resulta difícil establecer una comparativa válida entre los resultados aportados por un sistema de evaluación y los aportados por otro, más aun cuando muchos de ellos tienen un alcance particular, mientras otros son más globales o generales.

En todo caso, estos sistemas nacieron de la necesidad de poder evaluar y medir la sostenibilidad de las edificaciones en su conjunto, por lo que en su mayoría, el tema de la climatización lo abordan de una manera simplificada a través de indicadores que engloban principalmente el consumo energético y emisiones de CO_2 en toda la

edificación. Esto pudiese ocasionar una lectura poco objetiva que no refleje el verdadero peso de la climatización en la evaluación de la sostenibilidad de un edificio, al dejar de lado aspectos fundamentales como la calidad del aire, niveles de ruido, aceptación por parte de los usuarios, durabilidad, mantenimiento, costos, etc.

Son muchas las experiencias documentadas a nivel mundial en donde se cuantifica el potencial real de nuevas tecnologías alternativas para climatización de edificaciones, denominadas éstas como pasivas o cuasi-pasivas por la posibilidad de alcanzar las condiciones de confort térmico en los espacios construidos sin consumir energía eléctrica o hacerlo de forma muy reducida. (Santamouris, et al, 2007), (Finocchiaro, et al, 2010), (Geetha, et al, 2012), (Cam, 2012), (Santamouris, et al, 2013), siendo menores los registros en clima tropical húmedo, con excepción de países como Malaysia, Hong Kong, México y Venezuela (Toe, et al, 2014), (Kubota, et al, 2012), (Tetsu, et al, 2010), (Chyee, et al, 2009), (Lopez, et al, 2011), (Castillo, et al, 2011), (Figueroa, et al, 2011), (Huelsz, et al, 2011), (Xinhua, et al, 2008), (Madhumathi, et al, 2012), (Sanusi, et al, 2013), (Lorenzo, 2007), (Lorenzo et al, 2008), (Allard, et al, 1998), (Hobaica, et al, 2001), (González, 1997), (González, 2011), (Prado, 2015), (Piñate, et al, 2013), (Piñate, 2016).

No obstante, los estudios consultados se centran en el desarrollo o aplicación de distintas tecnologías a nivel particular y en un contexto determinado, observándose un vacío sustancial respecto a la existencia de metodologías que permitan su evaluación en el campo de la sostenibilidad, y como herramienta fundamental para la toma de decisiones.

Por todo lo anterior, y aunado a la necesidad de contar con nuevas metodologías enfocadas en la evaluación de distintos aspectos dentro de la sostenibilidad, con el fin de obtener mediciones o datos más objetivos que de otra forma no pudiesen lograrse, especialmente cuando se piensa en casos como la evaluación de sistemas constructivos, procesos de producción y nuevas tecnologías (IHOBE, 2010), se propone el desarrollo de una metodología de evaluación de tecnologías de climatización de edificaciones en el marco de la sostenibilidad, con miras en que se convierta en una herramienta de ayuda en la toma de decisiones a nivel de la

planificación de políticas, elaboración de programas y/o gerencia de proyectos, así como del propio ejercicio profesional del arquitecto, en virtud de contribuir en la consecución de una arquitectura sostenible, entendida esta como la respuesta ética fundamental de su profesión.

1.7.- Antecedentes en la evaluación de sistemas de climatización en el marco de la sostenibilidad.

Con la necesidad de generar una línea base de antecedentes para la formulación y desarrollo de la investigación propuesta, se procedió a realizar una revisión sistemática respecto a la evaluación de tecnologías de climatización en el marco de la sostenibilidad.

La revisión realizada tuvo como premisa la consulta de trabajos entre los años 2000 y 2015, considerando toda información científica disponible respecto a la evaluación de tecnologías de climatización en el marco de la sostenibilidad.

Esta recolección se realizó a través de la revisión de las bases de datos electrónicas siguientes:

- EBSCOhost que incluye: Academic Search Complete; ACS Publications--Journal Search; Annual Reviews; Business Source Complete; CINAHL; Education Research Complete; Environment Complete; ERIC; Fuente Académica Premier; Humanities International Complete; Legal Collection; MasterFILE Premier; MEDLINE; NPG; Nature: OpenSearch; Oxford University Press: Oxford Index -- Oxford Journals; Psychology and Behavioral Sciences Collection; Regional Business News; SciELO: Scientific Electronic Library Online; Science Magazine (SRU); ScienceDirect; SocINDEX with Full Text; Springerlink; Web of Science; Wiley Online Library.

Para la revisión se utilizaron las siguientes palabras claves: sustainable technologies evaluation; sustainability passive HVAC; sustainability assessment in air conditioning; sustainability indicators in air conditioning; sustainable evaluation HVAC; indicators HVAC; sustainability assessment HVAC. Todos los estudios

considerados debían tener el texto completo en su versión electrónica, y estar escritos en idioma español, inglés, Francés o portugués. Asimismo, Los estudios no científicos o literatura gris no fueron seleccionados en la muestra, así como tampoco las referencias cruzadas.

Se obtuvieron inicialmente un total de doscientos ochenta (280) estudios resultantes de la búsqueda en las bases de datos.

En este nivel se revisaron los resúmenes, a la vez que se observó parcialmente el contenido de cada uno de los estudios, con el fin de excluir aquellos que estuviesen duplicados, que no estaban dentro del área de estudio, que utilizaban erróneamente los términos, que presentaban indicios que podrían repercutir en su calidad, que fueran extractos de libros, que estuvieran incompletos y/o que no correspondieran en general con lo requerido.

Esta primera reducción nos permitió depurar la búsqueda inicial, quedando solo veintidós (22) estudios a ser considerados (Tabla N° 6).

FUENTE	PALABRAS CLAVE	DOCUMENTOS DISPONIBLES	DOCUMENTOS SELECCIONADOS
EBSCOhost	sustainable technologies evaluation	210	16
	sustainability passive HVAC	4	0
	sustainability assessment in air conditioning	22	2
	sustainability indicators in air conditioning	6	0
	sustainable evaluation HVAC	11	0
	indicators HVAC	26	4
	sustainability assessment HVAC	1	0

Tabla N° 6.-Resultados preliminares de la revisión sistemática en EBSCO para Julio 2014. Fuente: Elaboración Propia.

Los 22 estudios fueron leídos en su totalidad, con el fin de seleccionar solo aquellos que profundizan sus análisis en el área que nos compete. Asimismo se excluyeron

aquellos trabajos que no profundizaron en los temas asociados a la sostenibilidad, así como aquellos que solo se enfocaron en la descripción o experimentación de tecnologías.

Finalmente se seleccionaron como antecedentes pertinentes para la investigación, 10 trabajos académicos considerados de interés para la investigación, los cuales se resumen en la Tabla N° 7.

Autor / Año / País	Título	Tema Desarrollado
N. Cardinale; G. Rospi; F. Ruggiero Italia, 2010	Economic-environmental performance indexes for solar-powered absorption cooling system in Mediterranean area	Evaluación económica y ambiental de un Sistema de climatización solar, sin el uso de indicadores.
J.Wang ; X, Zhang China, 2010	Recommended concentration limits of indoor air pollution indicators for requirement of acceptable indoor air quality	Desarrollo de un sistema de indicadores para evaluar la calidad del aire interior.
Violeta Sasnauskaite; Lina Uzsilaityte; Artur Rogoza Lithuania, 2007	A sustainable analysis of a detached house heating system throughout its life cycle. A case study	Evaluación de tres tecnologías de calefacción a través del estudio del ciclo de vida y análisis multicriterio, para valorar el mejor comportamiento respecto a las emisiones de CO2, costo inicial y ahorro de energía.
Hashemkhani Zolfani; Saparauskas, Jonas Iran/ Lithuania, 2007	New Application of SWARA Method in Prioritizing Sustainability Assessment Indicators of Energy System.	Desarrollo de un nuevo marco para la evaluación y priorización de los indicadores de evaluación de la sostenibilidad en el área energética denominado SWARA. También plantea algunos indicadores de sostenibilidad útiles para la investigación.
Cheryl E. Nelms, Alan D. Russell Barbara J. Lence Canada, 2007	Assessing the performance of sustainable technologies: a framework and its application.	Desarrollo de un método de ayuda para la evaluación de las repercusiones positivas y negativas de una tecnología en particular con respecto a la sostenibilidad. Presenta igualmente una lista de criterios para la evaluación de tecnologías en el marco de la sostenibilidad.
Kamami, Martin Ndegwa, George Home, Patrick Kenya, 2011	Fuzzy based decision support method for selection of sustainable wastewater treatment technologies	Desarrollo y validación de un método de Soporte a la Decisión (DSM) para evaluar el rendimiento de las tecnologías de aguas residuales mediante indicadores ambientales y económicos.
Gething, Bill Bordass, Bill Inglaterra, 2006	Rapid assessment checklist for sustainable buildings	Desarrollo de una lista de evaluación de la sostenibilidad, para enfoques simples y rápidos, como resultado de una revisión de los métodos de evaluación de la sostenibilidad disponibles

Naim Hamdia Mohammed Darwish Portugal / Kuwait, 2011	Multi-criteria sustainability assessment of water desalination and energy systems -- Kuwait case	Evaluación multicriterio de los sistemas de desalinización de agua y energía como ayuda a los tomadores de decisiones en la selección de la opción más adecuada, desarrollando algunos indicadores de sostenibilidad.
Nelms, CheryRussell, AlanLence, Barbara Canada, 2005	Assessing the performance of sustainable technologies for building projects	El trabajo identifica las relaciones de causa y efecto principal de las tecnologías de construcción sostenibles seleccionados y muestra los elementos de un marco para la evaluación sistemática de su desempeño desde una perspectiva ambiental, social, económica y técnica.
Hung, Shiu- Wan Tseng, Shih- Chang China, 2010	A New Framework Integrating Environmental Effects into Technology Evaluation.	Desarrollo de un nuevo marco para la evaluación de tecnologías mediante la adopción de los beneficios económicos y perspectivas ambientales.

Tabla N° 7.- Trabajos científicos seleccionados como antecedentes de la investigación. Fuente: Elaboración Propia.

1.8.- Avances en la evaluación de nuevas tecnologías a nivel institucional y en el marco de la sostenibilidad.

Al margen de los sistemas de indicadores de sostenibilidad para las edificaciones. Han surgido recientemente varias iniciativa de evaluación de tecnologías que en definitiva lo que buscan es estimular el desarrollo de nuevas tecnologías que contribuyan en la mitigación de los impactos ambientales en pro del logro de la sostenibilidad.

“The Sustainable Technologies Evaluation Program” (STEP) es un programa interinstitucional liderado por la Autoridad de Conservación Regional de Toronto (TRCA) Canadá, el cual fue desarrollado para proporcionar los datos y las herramientas analíticas necesarias para apoyar la aplicación de tecnologías y prácticas sostenibles en el contexto canadiense. Sus principales objetivos son:

- Monitorear y evaluar las tecnologías sostenibles en las áreas de agua y aire.
- Evaluar los posibles obstáculos a la aplicación de tecnologías sostenibles.

- Proporcionar recomendaciones para la orientación y el desarrollo de políticas.
- Difundir los resultados y recomendaciones de sus estudios y promover el uso de tecnologías eficaces en una escala más amplia a través de la educación y la promoción.

Este programa realiza la evaluación de las tecnologías mediante la valoración de sus distintas prestaciones, resaltando los aspectos relacionados con el consumo energético y las emisiones de CO_2 al ambiente. Para las valoraciones se basan generalmente en el desarrollo de prototipos experimentales que a su vez deben ser avalados por distintas agencias y/o laboratorios autorizados, certificando así las prestaciones de cada tecnología, obteniendo, de ser el caso, una certificación que facilita su comercialización en el mercado Canadiense principalmente.

Asimismo, tanto países como México y EEUU, mediante el “General Verification Protocol” (GVP) desarrollado por el Registro de Acción Climática de California, han sentado las bases para la evaluación tanto de tecnologías como de procesos, pero enfocándose principalmente en las emisiones de GEI al ambiente.

En la Cumbre de las Américas de 2009 se formalizó la Alianza de Energía y Clima de las Américas (ECPA por sus siglas en inglés) concebida como un mecanismo flexible para acelerar el logro de la sostenibilidad en el campo de la energía, destacando entre otros, el desarrollo de un programa de certificación de tecnologías y procedimientos enfocados principalmente a la eficiencia energética, con una visión a largo plazo, de convertirse en un recurso de apoyo para los países de la región.

Mientras, para el año 2011 la Unión Europea lanzó igualmente un plan piloto denominado “Environmental Technology Verification pilot programme” (ETV), el cual ofrece la oportunidad de verificación de tecnologías ecológicas innovadoras. Siendo su objetivo:

- Aumentar la credibilidad de este tipo de tecnologías en el mercado.

- Permitir a los usuarios de tecnología y compradores, comparar tecnologías e identificar las innovaciones ecológicas adaptadas a sus necesidades.
- Garantizar un mayor reconocimiento de los resultados de verificación, tanto en el mercado interno como en el internacional.

Este programa trabaja según su Protocolo General de Verificación (GVP), el cual es muy similar al del sistema canadiense (STEP).

En todo caso, estos programas y sistemas de evaluación de tecnologías, se enfocan principalmente en los aspectos de ahorro energético y emisiones de GEI. Por lo que la visión integral que requiere la sostenibilidad es un camino que falta aún por recorrer, a pesar que las distintas iniciativas existentes apuntan hacia ese fin.

1.9.- Objetivos de la investigación

1.9.1.- Objetivo general.

Desarrollar una metodología para la evaluación de proyectos de climatización de edificaciones dentro del marco de la sostenibilidad, fundamentada ésta en la conceptualización y diseño de un modelo integrado de indicadores específicos para el área de estudio.

1.9.2.- Objetivos específicos.

1.- Realizar una revisión del estado del arte referente a modelos y herramientas de evaluación existentes en el marco de la sostenibilidad de las edificaciones, analizando la problemática, vacíos existentes y oportunidades en el campo de la climatización.

- 2.- Definir el marco conceptual del paradigma del desarrollo sostenible y sus implicaciones en la climatización de edificaciones a nivel ambiental, económico y social, incluyendo los aspectos éticos relacionados al tema.
- 3.- Desarrollar una metodología para la identificación, priorización y selección de las variables de sostenibilidad asociadas a la climatización de edificaciones, con la finalidad de definir indicadores clave.
- 4.- Aplicar la metodología propuesta y establecer el conjunto de indicadores de sostenibilidad a utilizar mediante las técnicas y métodos escogidos.
- 5.- Proponer un modelo de análisis de los indicadores seleccionados para la valoración de la sostenibilidad en proyectos de climatización de edificaciones, como herramienta para la toma de decisiones.
- 6.- Validar el modelo para la valoración de la sostenibilidad propuesto, mediante su aplicación en un caso de estudio dentro del contexto venezolano.

1.10.- Síntesis del capítulo

El capítulo comienza con el desarrollo de una síntesis del escenario energético mundial en la actualidad y sus principales perspectiva para los próximos años. Se destacan los impactos ambientales a causa de la combustión de combustibles fósiles en la generación de energía, siendo el cambio climático por efecto invernadero una de las principales preocupaciones al poner en riesgo la vida en el planeta.

Asimismo se profundiza en las edificaciones y su influencia en el patrón energético de los países, así como su contribución en las emisiones de gases de efecto invernadero. Se resalta el hecho que de los usos finales de la energía en las edificaciones, la climatización se ubica como el rubro de mayor peso con cerca de un 40%, lo cual pudiese aumentarse aún más como consecuencia del calentamiento global, así como por el aumento de los niveles de desarrollo en los países no industrializados.

Se trata igualmente el tema de la sostenibilidad como aspecto sociopolítico y la necesidad de su evaluación, desarrollando las distintas visiones que llevaron a que en la actualidad existiera un gran auge en esta materia, en especial en el campo de las edificaciones.

Además, se han analizado los antecedentes a través de una revisión sistemática de los trabajos científicos publicados entre el año 2000 y 2015, seleccionando finalmente los 10 más representativos para la investigación propuesta, complementando con el estudio de los principales programas de evaluación de tecnologías desde el punto de vista de la sostenibilidad a nivel mundial.

En definitiva, el enfoque de este capítulo ha sido el de sintetizar la amplia y extensa documentación disponible respecto a la problemática de la climatización de las edificaciones, a fin de demostrar la necesidad de contar con mecanismos de evaluación, con flexibilidad para adaptarse a los requerimientos de las nuevas tecnologías para una construcción sostenible. Como se demuestra en los objetivos de la investigación presentados al final del capítulo

CAPITULO 2. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

Comprendiendo la complejidad y multi-dimensionalidad de la sostenibilidad y su relación con las edificaciones, se busca profundizar en las diferentes discusiones, enfoques, conceptualizaciones y referentes asociados al tema de estudio propuesto, por lo que se desarrollan siete ejes temáticos fundamentales para la construcción del marco teórico los cuales versan en torno a: El paradigma del desarrollo sostenible; La arquitectura sostenible como respuesta ética; El marco normativo referencial; La evaluación de la sostenibilidad en arquitectura; Los indicadores para la evaluación de la sostenibilidad; La problemática de los sistemas de indicadores; y los métodos de integración de criterios para la valoración final de indicadores de sostenibilidad.

2.1.- El paradigma del desarrollo sostenible.

La base lingüística de la palabra sostenibilidad proviene del latín *sustenerere*: sostener, sustentar, soportar, tolerar, mantener. Sin embargo, el término desarrollo sostenible (en inglés, *sustainable development*) no se refiere a un estado estable o fijo, sino que enfatiza el carácter dinámico del desarrollo y hace referencia al esfuerzo necesario para que un proceso se mantenga en avance continuo.

En la actualidad existen diferentes posturas acerca del paradigma del desarrollo sostenible. La mayoría de ellas coincide en que este nuevo modelo de desarrollo implica un cambio cuantitativo y cualitativo respecto a los patrones de producción industrial y consumo en toda la sociedad. Es importante aclarar que el termino de paradigma utilizado a lo largo de la presente investigación, responde al desarrollado por (Kuhn, 1976), entendiéndose entonces como un modelo o patrón aceptado por un grupo de científicos.

Según Kuhn, el surgimiento de un nuevo paradigma implica una definición nueva y más rígida del campo científico en cuestión. Pero, a la vez, nos advierte sobre la necesidad de reconocer lo limitado que puede ser un paradigma en alcance y precisión en el momento de su aparición. En todo caso, los paradigmas obtienen su status como tales, debido a que tienen más éxito que sus competidores para resolver problemas que un grupo de expertos han reconocido como agudos en un determinado campo científico.

Podría decirse que el concepto de la sostenibilidad se encuentra en un proceso discusión y profundización para su adaptación y posterior aplicación en los distintos campos del desarrollo, siendo común encontrar diversos enfoques teóricos acerca del mismo tema, dependiendo del momento histórico y del campo científico en el que se esté trabajando, sin embargo, para efectos de la presente investigación, se precisarán los fundamentos comunes esenciales que lo definen, a través de una breve revisión de la evolución del concepto y el contexto en el que surge.

En este sentido, para el año 1968 a través de la aparición del Club de Roma se comienzan a establecer agendas para la promoción de un crecimiento económico estable y sostenible de la humanidad mediante la actuación de un grupo de personalidades destacadas a nivel mundial, logrando para el año 1972 la publicación del informe “Los límites del crecimiento” (Meadows, et al. 1972), donde se menciona por primera vez la “insostenibilidad” que caracterizaba a los países industrializados y la necesidad de un desarrollo económico más sostenible. La Cumbre de la Tierra por su parte, la cual fue realizada en Estocolmo el mismo año, supuso el comienzo

de la preocupación mundial por la problemática ambiental global, derivando en un primer intento de cambio en el desarrollo económico de los países industrializados.

Ocho años más tarde en 1980, la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) junto a la UNESCO dieron las primeras luces respecto al “Desarrollo Sostenible” como estrategia mundial para la conservación del planeta. Hasta que finalmente, y una vez constituida la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo (CMMAD) en 1984, encargada de evaluar los avances de los procesos de degradación ambiental y la eficacia de las políticas ambientales para enfrentarlos, publica en 1987 las conclusiones de numerosas deliberaciones y audiencias públicas en el documento titulado “Nuestro futuro común”, conocido como el informe Brundtland, formalizando por primera vez el término de “Desarrollo Sostenible” como:

“Desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades” (ONU, 1987).

Desde entonces, el empleo y desarrollo de este término ha ido evolucionando a través de los años (Tabla N° 8), llegando a convertirse en uno de los desafíos más importantes del nuevo siglo, en especial luego de la Cumbre de la Tierra de 1992, en Río de Janeiro, donde se empieza a dar amplia publicidad al concepto, modificando la definición original del Informe Brundtland, la cual se centraba en la preservación del ambiente y el consumo prudente de los recursos naturales no renovables, para transformarse ahora en la idea de "tres pilares" o “dimensiones” que deben conciliarse entre sí para el logro del desarrollo sostenible: el progreso económico, la justicia social y la preservación del ambiente. Concepto que se formalizó a través de la aceptación de la Agenda 21, donde cerca de doscientos países acuerdan un plan de acción hacia el logro de la sostenibilidad, lo que supone la primera aplicación práctica de este concepto a escala urbana y local.

Años	Eventos	Desarrollos y conceptos
1968	Creación del Club de Roma	Crecimiento estable de la humanidad "Los límites del crecimiento" publicado en 1972
1972	Cumbre de la Tierra en Estocolmo	Posible Cambio Climático Nuevo concepto de Desarrollo
1987	Informe Brundtland	Se acuña el término Desarrollo Sostenible.
1992	Cumbre de Río de Janeiro	UNFCCC -United Nations Framework Convention on Climate Change - (189 países lo ratifican) Agenda 21
1997	Cumbre en Nueva York (Río + 5)	Necesidad de realizar progresos concretos. Establecer estrategias nacionales de Desarrollo Sostenible
2000	Cumbre del Milenio de las Naciones Unidas (Nueva York)	Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM)
2002	Cumbre de Johannesburgo (Río + 10)	Cumbre del Desarrollo Sostenible. Tres pilares: desarrollo económico, social y ambiental.
2005	Entra en vigor el Protocolo de Kioto	Más del 50 % de los países firman el protocolo.
2007	Conferencia Internacional Río + 15 en Río de Janeiro	Documento final en Bali, 2007 (Indonesia). Y 4º Informe IPCC – Impacto humano en Cambio Climático.
2009	Reunión del G8 + G5 de L´Aquila	2°C como indicador máximo para el 2050 del calentamiento global
2012	Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible. Río + 20	Necesidad de mejorar la coordinación internacional para el desarrollo sostenible
2012	Cumbre del Clima de Doha	Extensión del protocolo de Kioto hasta el 2020 con débil compromiso de los países industrializados

Tabla N° 8.- Evolución del concepto de Desarrollo Sostenible. Fuente: Elaboración propia.

En el documento de la Agenda 21, también es relevante el hecho que se propone para la medición de la sostenibilidad a los indicadores, pensados estos como herramienta para la evaluación, el control y monitoreo de las tres dimensiones del desarrollo sostenible: la dimensión ambiental, social y económica.

“Los indicadores de desarrollo sostenible necesitan ser desarrollados para proporcionar bases sólidas para la toma de decisiones en todos los niveles y para contribuir a una sostenibilidad autorregulada en el medio ambiente y sistemas de desarrollo” (ONU, 1992).

En 2002 se llevó a cabo la Conferencia Mundial sobre Desarrollo Sostenible conocida como "Río+10" en Johannesburgo, reafirmando el desarrollo sostenible como elemento central de la Agenda Internacional. Mientras, en el año 2005 entra en vigor el Protocolo de Kioto sobre la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, redefiniéndose éste en la Cumbre de Bali de 2007 en respuesta a los nuevos hallazgos que corroboran la relación de las actividades humanas y el cambio

climático, que fueron presentados en el cuarto informe de evaluación del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, 2007).

En 2009, en la reunión del G8 + G5 de L'Aquila, en el marco de un foro económico internacional, los países participantes acordaron como indicador que el máximo cambio climático admisible para el año 2050 sería un aumento de 2 °C sobre los valores medios anteriores y establecieron tomar medidas si las predicciones previas a 2050 indicaban un aumento superior a la temperatura fijada.

También en 2009 en la cumbre de Copenhague, donde se discutiría sobre la vigencia del Protocolo de Kioto, no se logró la creación de un nuevo marco legal que permitiera su revalidación, a pesar de que éste expiraba en 2012. Por su parte, en la decimoctava Conferencia de las Partes (COP 18) sobre cambio climático llevada a cabo en Doha, Catar en 2012, se ratifica un segundo periodo de vigencia de ocho años y con metas concretas hasta el 31 de diciembre de 2020. Sin embargo, se denotó un débil compromiso de los países industrializados como Estados Unidos, Rusia, Japón y Canadá, quienes decidieron no respaldar la prórroga.

En este sentido, y con base en lo expuesto anteriormente, se puede deducir que la sostenibilidad es pues, un concepto en construcción; Sin embargo, con el tiempo se ha logrado un consenso hacia la consideración de los aspectos económicos, sociales y ambientales, a la vez de incorporar la participación de todos los sectores de la sociedad en la toma de decisiones y la diferenciación de responsabilidades entre los países ricos y pobres (Meadowcroft, 2000).

En este sentido, las tres dimensiones del desarrollo sostenible según (Fullana et al, 2002), se establecerían de la siguiente manera:

- La sostenibilidad ambiental que debe garantizar que el desarrollo sea compatible con el mantenimiento de los procesos ecológicos esenciales, de la diversidad biológica y de los recursos naturales.
- La sostenibilidad social y cultural que debe garantizar que el desarrollo sostenible aumente el control de los individuos sobre sus vidas, y sea compatible con

la cultura y los valores de las personas, manteniendo y reforzando la identidad de las comunidades.

- La sostenibilidad económica que debe garantizar que el desarrollo sea económicamente eficiente, beneficie a todos los agentes de la región afectada, a la vez que los recursos sean gestionados de manera que se conserven para las generaciones futuras.

Una visión del desarrollo sostenible muy extendida hoy día es la integración de estas dimensiones con sus diferentes objetivos y funciones para el desarrollo humano (Tàbara, 2003). Este enfoque resalta la interacción entre los tres subsistemas (ambiental, sociocultural y económico), y cómo la degradación de un subsistema puede afectar de forma negativa a todo el sistema del progreso o bienestar humano. El esquema de la triple dimensión de la sostenibilidad (Figura N° 23), ha sido empleado y difundido ampliamente a partir de mediados de los años 90, tras la definición del desarrollo sostenible propuesta en el informe Brundtland y la consiguiente incorporación del término al vocabulario de los planificadores y encargados de elaborar políticas públicas. La gran ventaja de descomponer la sostenibilidad en dimensiones consiste en permitir su desarrollo operativo (evaluación y análisis), utilizando para ello sistemas de indicadores que abarquen cada una de las dimensiones contempladas (Bell et al, 2008).

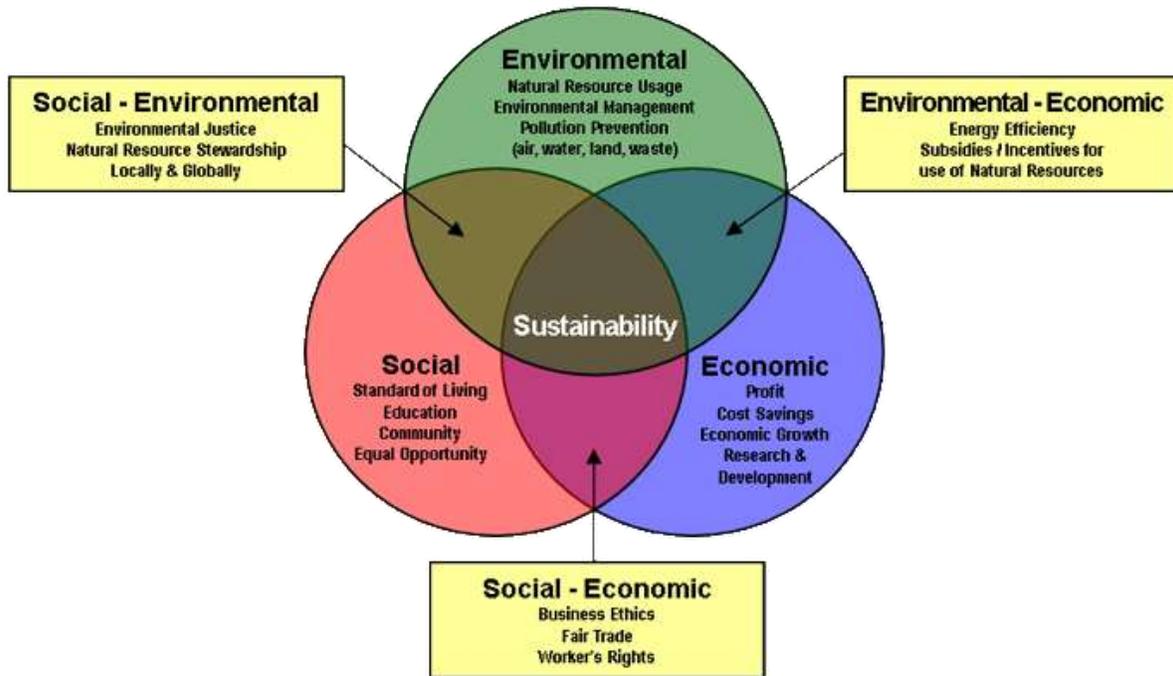


Figura N° 23.- Las dimensiones del desarrollo sostenible. Fuente: Rodríguez et al, 2002.

De igual modo, nuevas aproximaciones al concepto de sostenibilidad consideran que además de las tres dimensiones del desarrollo sostenible, debe incorporarse la dimensión política e institucional (Lehtonen, 2004), a la vez que otros autores coinciden al insistir que debe ser separada la política de la dimensión social (Carlino et al, 2008).

En este sentido la Sostenibilidad político-institucional: se referiría a las normas, valores, prácticas de los espacios de conocimiento y actuación, diálogo de saberes, formas de participación significativa y responsable, formas de gobernabilidad y gobernanza en torno al desarrollo sostenible. Algunos autores, el ámbito político-institucional los insertan en el subsistema sociocultural.

A través del Global Compact Cities programme (GCCP) del Pacto Mundial de las Naciones Unidas, se ha desarrollado lo que se conoce como los "Círculos de Sostenibilidad", los cuales están pensados como una manera de desarrollar una descripción interpretativa de la sostenibilidad de una región urbana y su zona de influencia inmediata. En estos casos por ejemplo, la sostenibilidad se entiende en

relación con los procesos locales, nacionales y globales a nivel: ecológico, económico, político y cultural (Figura N° 24).

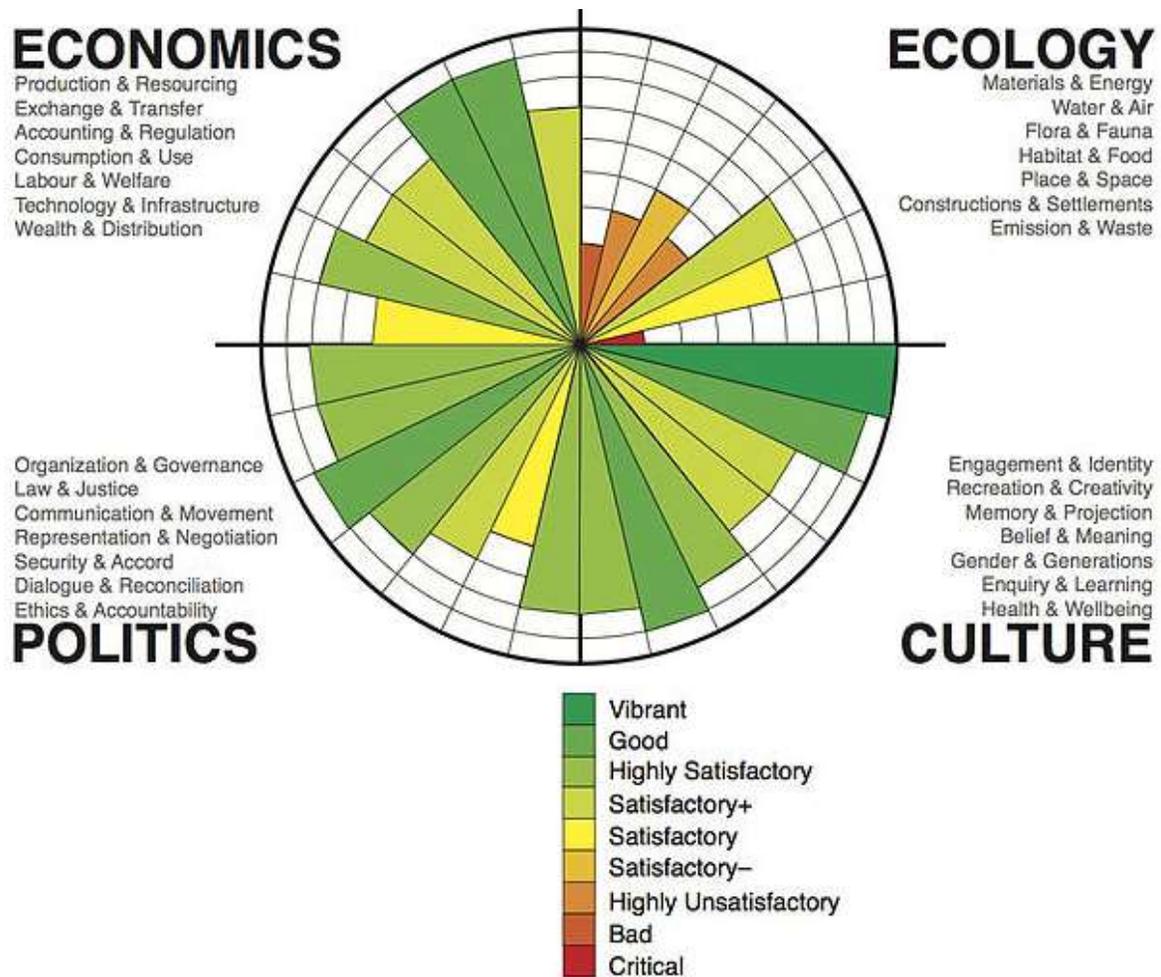


Figura N° 24.- Círculos de la sostenibilidad. Fuente: GCCP, 2013.

2.2.- La arquitectura sostenible como respuesta ética en el campo de la construcción.

No hay duda de que hoy en día, la mayoría de las disciplinas están cada vez más atentas a las cuestiones éticas, pero es en la biología y la medicina que este fenómeno se ha vuelto más evidente. La bioética, ha sido concebida para hacer frente a las cuestiones problemáticas planteadas por los acontecimientos recientes en las ciencias biomédicas, y en cuestión de unas pocas décadas, un número

creciente de centros de investigación especializados se han creado. Al mismo tiempo, una serie de análisis sobre los problemas bioéticos previamente insospechados han sido discutidos en las conferencias especializadas y difundidos en los medios de comunicación a nivel mundial.

Al considerar este fenómeno, cabe preguntarse si en la arquitectura surgirá un desarrollo semejante, y ¿Por qué no hemos sido testigos del nacimiento y rápido desarrollo de una nueva "Arquitectura ética", dedicada al análisis y discusión de los problemas éticos asociados a la arquitectura? Después de todo, un número creciente de arquitectos y teóricos de la arquitectura han realizado un convincente llamado de atención sobre las dimensiones éticas en el campo de la arquitectura.

Se podría pensar que la ausencia de tal desarrollo se debe al hecho de que la arquitectura es un arte y no una ciencia. Si tomamos lo primero como cierto, por su propia naturaleza, la arquitectura estaría comprometida meramente con los valores estéticos, en vez de los valores éticos, como en varias ocasiones ha sido afirmado por los defensores de éste pensamiento, sin embargo, si apoyamos dicha afirmación estaríamos olvidando que la arquitectura se diferencia sustancialmente de otras artes, al tener como propósito fundamental la creación del habitat humano donde se desenvuelve la vida de innumerables individuos. Por lo cual, Las obras de los arquitectos tienen un impacto en el comportamiento de las personas y por consiguiente deben poseer un alto valor ético que rijan la obra desde su concepción.

El correcto cumplimiento de las responsabilidades del arquitecto requiere un servicio competente, ético e imparcial, no sólo en respuesta a las diferentes condiciones naturales del lugar donde se implante su obra, sino también en el interés público. Por esta razón, el arquitecto es responsable de diseñar edificios que protejan la salud, la seguridad y el bienestar de todos los que lo utilizan, a la vez de conservar el ambiente con medidas que mitiguen el impacto de su obra (Murvin, 1982).

La multiplicidad de impactos asociados a las edificaciones en su ciclo de vida ponen de manifiesto la complejidad de las implicaciones éticas asociadas al ejercicio de la

arquitectura, implicaciones que muchas veces rebasan el campo local y nacional, como por ejemplo las referentes a las emisiones de los GEI al ambiente.

Un caso interesante para su evaluación desde el punto de vista ético, sería la estimación de la responsabilidad de los arquitectos ante el calentamiento global. Por ejemplo, la decisión de diseñar una edificación que desconozca la realidad climática de la zona donde se encuentra, provocando que la misma dependa de sistemas artificiales de climatización, caracterizados por su alto consumo energético, es una decisión que trasciende más allá de los usuarios, con unas implicaciones éticas que deberían ser evaluadas detenidamente. Lo mismo pasaría con la selección de los materiales y tecnologías a utilizar desde la concepción de la obra, que en definitiva, condicionaran los distintos impactos a lo largo del ciclo de vida.

Por todas estas razones, una arquitectura que detenga, e incluso reverse los impactos ambientales, sea viable económicamente, a la vez de responder a las necesidades de un hábitat adecuado para los seres humanos, pareciera ser la respuesta más acertada, no solo desde el punto de vista ético, sino también desde la necesidad prioritaria de alcanzar un desarrollo sostenible. El hombre y su hábitat, debe desarrollarse con un patrón semejante al de los ecosistemas naturales, es decir, que no incremente el gasto de recursos y reduzca sus impactos ambientales (Goodland et al, 1997).

Es crucial que los gobiernos de los países asuman un papel preponderante para lograr la transición hacia una arquitectura ética, en conformidad con el desarrollo sostenible de las naciones. Responsabilidades que se deben concretar a través de políticas públicas apropiadas, la promoción de la investigación y el desarrollo tecnológico, así como la educación, capacitación y actualización de los profesionales de la arquitectura e ingeniería, como de la población en general.

En todo caso, la transición hacia una arquitectura sostenible, va a requerir de la actuación de numerosos actores públicos, comunitarios y privados. En este sentido a nivel mundial se han dado pasos importantes que sirven de ejemplo tangible, sin embargo, en los países en vías de desarrollo este objetivo solo podrá lograrse a

mediano o largo plazo, siempre y cuando se hagan los esfuerzos de manera continua y bien coordinada (Gabaldón, 2006).

2.2.1.- El problema ético en el ejercicio de la arquitectura.

Una de las dificultades que ha impedido la creación de una tendencia hacia la “Arquitectura ética”, se debe a que los problemas éticos planteados por la arquitectura son de naturaleza muy diferente a los planteados por las ciencias biomédicas y la mayoría de las ciencias aplicadas.

El desarrollo de las ciencias biomédicas ha generado inquietantes problemas éticos, ofreciendo a la humanidad la posibilidad de dar nuevas opciones que puede tener un impacto considerable y terrible, incluso en su destino. Gracias a estas ciencias, se ha hecho posible por ejemplo, el control del número de nacimientos, la determinación del sexo y los rasgos de los niños, la clonación de animales e incluso de seres humanos, etc. Supongamos ahora que un biólogo que participa en algún descubrimiento biomédico, reconoce su incompetencia total en la solución de los problemas éticos planteados por dicho descubrimiento, en esta situación, la credibilidad científica no se ve afectada en lo absoluto, ya que dichas cuestiones éticas simplemente no figura en la práctica de la biología o la medicina, Es decir, podrían ser de interés para los juristas, filósofos, teólogos, sociólogos, políticos, o los ciudadanos, pero no a los científicos como tal, y si éstos llegasen a participar en dichos debates, su fin sería el de proporcionar experiencia técnica, en lugar de aportar soluciones, por lo tanto, se puede decir entonces que los problemas éticos son totalmente externos a las ciencias biomédicas.

En el caso de los arquitectos, es cierto que por su propia actividad son los responsables de la creación de edificaciones, las cuales afectan considerablemente la vida de sus usuarios y habitantes. Incluso se podría argumentar que este impacto es más importante que los resultantes de los descubrimientos biomédicos por el simple hecho de que las obras arquitectónicas continuamente afectan la vida de cada ciudadano. Decisiones como por ejemplo Construir edificios residenciales de gran

tamaño en lugar de casas de campo orientadas a la familia; Hacer o no uso de determinados materiales o tecnologías; Decidir la organización de las escuelas de manera que contribuyan a la socialización de los niños; Decidir la construcción de hospitales de manera que creen esperanza en los pacientes que se enfrentan con la muerte; decidir la creación de prisiones que reduzcan la agresividad de los presos, etc. Nos permite entender que la arquitectura tiene un impacto considerable en la vida de las personas, ya que afectan las formas de vida y los valores correspondientes, por lo que determinar cuál es la decisión apropiada en todos los casos, es claramente un problema ético.

Pero supongamos ahora que un arquitecto, siguiendo la misma idea del ejemplo dado en el campo biomédico, reconoce con franqueza su incompetencia total en la solución de tales cuestiones éticas. En este caso, la credibilidad de este arquitecto es probable que sea afectada notoriamente. La arquitectura continuamente plantea problemas éticos, que, sin embargo, no son más que los problemas comunes que los arquitectos deben resolver en la práctica de su profesión.

Podríamos decir entonces que es casi una peculiaridad de la arquitectura y del urbanismo, que la mayor parte de los debates éticos que plantean se refiere a problemas que son tan intrínsecamente ligados a la práctica misma, que los arquitectos difícilmente pueden disociar el éxito de su trabajo, de la solución que aportan a los problemas, por lo que difícilmente puede ser alabados por sus logros dejando de lado sus repercusiones sociales, como sí pudieran hacer, por ejemplo, los biólogos.

Si consideramos el caso de la ciencia y la tecnología, por ejemplo. No es habitual para los científicos en sus laboratorios preocuparse con las cuestiones éticas. La ciencia es orientada hacia la verdad o, si se prefiere, hacia la acumulación de conocimiento fiable y objetivo. Por lo tanto, si las consideraciones éticas interfieren significativamente con la investigación, la objetividad de la ciencia se vería seriamente comprometida, o por lo menos, sería totalmente cuestionable la competencia de un científico que haya descubierto y no documentado un hecho, por considerarlo moralmente indeseable.

El punto es que estos problemas éticos son externos a la ciencia y la tecnología en el sentido de que los méritos éticos de los que contribuyen o se niegan a contribuir con aquellas empresas que pueden ocasionar repercusiones morales a las sociedades, no tienen nada que ver con la calidad científica de sus logros, como ocurre con la mayoría de los problemas tratados por la bioética.

Consideremos ahora el caso de otras artes, que pueden llegar a ser más complejas pero también mucho más ilustrativas. Es evidente que hay algunas artes como el diseño, las cuales están tan estrechamente relacionados con la arquitectura que se encuentran en una situación relativamente similar en cuanto a su relación con los problemas éticos. Pero ¿qué pasa con las artes como la pintura y la literatura que, en contraste con la arquitectura y el diseño, no pueden ser consideradas principalmente como respuesta a las exigencias de la vida social? Es bien sabido que muchas obras de arte, sobre todo las novelas y las películas, a menudo han sido evaluadas y criticadas desde el punto de vista ético. ¿Debemos concluir de esto que los problemas éticos son internos a la práctica de estas artes?, ¿Los artistas por lo tanto tienen la responsabilidad de proporcionar soluciones adecuadas a problemas éticos? Desde los inicios de la estética moderna a finales del siglo XVIII, la respuesta más o menos estándar a estas preguntas han sido que, aunque las evaluaciones éticas de obras de arte son legítimas y útiles con frecuencia, tienen poco o nada que ver con el valor estético de estas obras y por lo tanto no deben confundirse con el logro artístico como tal. En este sentido se puede concluir entonces que la relación de los artistas a las obras que crean es similar a la relación real de los científicos a sus descubrimientos, por lo cual, si dichas obras son estéticamente valiosas, y son alabadas por eso, cualquier planteamiento ético sobre ellas deben debatirse fuera del ámbito del arte.

Sin embargo, en los últimos años este punto de vista ha sido cada vez más cuestionado por los teóricos, quienes con la ayuda de distintos argumentos, alegan cuestiones éticas en la evaluación estética de obras de arte. Por ejemplo, según Berys Gaut (1998), es esencial que las obras de arte estéticamente sugieran una

respuesta, (lo que requeriría una fundamentación ética), por medio del contenido que se presenta, de no ser así, el trabajo en sí sería estéticamente deficiente.

De acuerdo con esta perspectiva, un novelista o cineasta que presenta una narración que contenga implicaciones éticas, debería darse cuenta de que es responsable de lo que sugiere como respuesta a los problemas éticos involucrados, de lo contrario el trabajo sería erróneo, incluso desde el punto de vista estético.

Lo anterior nos llevaría a profundizar en un debate muy nutrido por distintos actores del mundo de las artes, sin embargo mi interés no es profundizar en la discusión de este planteamiento tan delicado, por lo tanto, solo intento presentar que la arquitectura, a diferencia de otras artes, tiene una forma distinta de afrontar los problemas éticos, y esto se debe al hecho de que la solución de dichos problemas es, literalmente, una parte constitutiva de la práctica de la arquitectura. Es necesario reconocer entonces, que cuando se trata de caracterizar su relación con la ética, la arquitectura se encuentra en una situación muy peculiar, ya que en sus obras los juicios éticos son difícilmente distinguibles de los estéticos y funcionales. En este sentido, adquieren especial relevancia todas aquellas herramientas y/o metodologías orientadas a facilitar la toma de decisiones en el campo de la sostenibilidad de las edificaciones, entendiendo que sería este el objetivo del “arquitecto ético”.

2.2.2.- La responsabilidad del arquitecto ético.

La responsabilidad está implícita en la excelencia de la práctica arquitectónica, pero también está presente, en un sentido más amplio, en la “huella” creada por la configuración del entorno construido.

La sensibilidad con respecto a las directrices de la sostenibilidad requiere que los arquitectos acepten la responsabilidad de su labor, no sólo en garantizar ambientes óptimos para el bienestar humano, sino que también deben asumir las distintas cuestiones ambientales, económicas y sociales, asociadas a sus obras a lo largo de

su ciclo de vida. La responsabilidad entonces tiene que ser vista no solo a corto plazo, sino a largo plazo, es decir, la responsabilidad no sólo por las consecuencias de las decisiones de hoy, sino por cómo se prevén en el futuro (Polak, 1973). La responsabilidad del arquitecto ético entonces debe apuntar cada vez más hacia una arquitectura sostenible, reduciendo al máximo la “huella” de su obra, a lo largo de toda su vida útil.

2.3.- La sostenibilidad y el marco normativo en el sector de las edificaciones.

A pesar que tanto en la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela, como en el Plan de Desarrollo de la Patria “Simón Bolívar”, se establece la necesidad de cumplir con los lineamientos de la sostenibilidad como premisa para el desarrollo, no existen normativas a nivel de estado que estimulen el logro de dicho fin en el sector construcción y de las edificaciones.

Por lo tanto, se recurre a una revisión internacional de aquellos estándares que pudiesen estar relacionados con los diversos aspectos de la sostenibilidad aplicados a la construcción y edificaciones y que pudieran ser de utilidad para el trabajo. En este sentido, International Organization for Standardization (ISO) ha realizado un gran trabajo en la búsqueda de homogeneizar las líneas básicas de aplicación de la sostenibilidad. Entre las distintas normas identificadas cabe destacar la ISO 21929-1 que trata exclusivamente de los indicadores de sostenibilidad, estableciendo un marco para su desarrollo en el campo de las edificaciones exclusivamente. Es un planteamiento muy general pero válido para establecer los límites y la definición de lo que se entiende por indicador de sostenibilidad, expresado por ellos como:

“figuras u otras medidas que permiten disponer de información de un fenómeno complejo de forma simplificada, de fácil de uso y comprensión. Las tres principales funciones de los indicadores son cuantificación, simplificación y comunicación” (ISO-21929, 2011).

Es decir, se trata del empleo de indicadores como elementos que simplifican fenómenos complejos de una forma más sencilla de usar y entender. Según la Organization for Economic Cooperation and Development (OECD) un indicador es un parámetro o un valor derivado de parámetros que indica, proporciona información acerca de algo, o describe el estado de un fenómeno con una importancia más allá de lo relacionado directamente con el valor de un parámetro, siendo éste una propiedad que es medida u observada. Un índice, sin embargo, se define como un conjunto agregado o ponderado de parámetros o indicadores.

Esta norma ISO establece la importancia de que los indicadores sean internacionalmente comparables en lo posible (también nacional y regionalmente), la importancia de identificar todos los actores presentes en el proyecto, así como la utilidad de un sistema de indicadores de sostenibilidad para la toma de decisiones y para la certificación sostenible. Se distinguen tres tipos de indicadores de sostenibilidad de acuerdo a los pilares del desarrollo sostenible:

- Indicadores ambientales: se refieren a las cargas o impactos ambientales como el consumo de recursos, residuos, olores, ruidos, emisiones al agua, al aire o al suelo, etc.; se debe considerar el ciclo de vida del indicador en caso contrario se debe justificar la utilización de otras mediciones; utilización de indicadores consecuenciales (indirectos) e identificación como indicadores de riesgos ambientales.
- Indicadores económicos: se tratan de aquellos que miden los flujos económicos como la inversión, diseño, construcción, elaboración de productos, uso, consumo energético, consumo de agua, residuos, mantenimiento, deconstrucción, desarrollo del valor económico del proyecto, ingresos generados por el mismo y sus servicios, etc.; un indicador básico es “Life Cycle Cost” basado en la inversión, uso, mantenimiento y deconstrucción, así como el valor potencial durante su uso. Se debe incluir el balance entre los aspectos económicos a corto y a largo plazo; y, al igual que con los indicadores ambientales, se debe contemplar el ciclo de vida y los indicadores consecuenciales (indirectos).

- Indicadores sociales: son aquellos relacionados con el nivel social de la comunidad y con el nivel del proyecto; se busca la valoración de la cooperación con los usuarios y vecinos, el estudio de las necesidades, las consideraciones culturales, etc.

A continuación se muestra las normativas seleccionadas como marco de referencia para la investigación propuesta, en el marco de la construcción sostenible (Tabla N° 9).

Norma	Título	Año de Publicación
ISO 21930:2007	Sustainability in building construction - Environmental declaration of building products	10-2007
ISO 15392:2008	Sustainability in building construction - General principles.	05-2008
ISO 21931-1:2010	Sustainability in building construction -- Framework for methods of assessment of the environmental performance of construction works -- Part 1: Buildings.	06-2010
CEN EN 15643-1	Sustainability of construction works - Integrated assessment of building performance - Part 1: General framework.	10-2010
CEN EN 15643-2	Sustainability of construction works - Integrated assessment of building performance - Part 2: Framework for the assessment of environmental performance	03-2011
ISO 21929-1:2011	Sustainability in building construction -- Sustainability indicators -- Part 1: Framework for the development of indicators and a core set of indicators for buildings	11-2011
CEN EN 15643-3	Sustainability of construction works - Integrated assessment of building performance - Part 3: Framework for the assessment of social performance	02-2012
CEN EN 15643-4	Sustainability of construction works - Integrated assessment of building performance - Part 4: Framework for the assessment of economic performance	02-2012
ISO/TR 21932:2013	Sustainability in buildings and civil engineering works -- A review of terminology	11-2013
ISO/TS 12720:2014	Sustainability in buildings and civil engineering works -- Guidelines on the application of the general principles in ISO 15392	03-2014
ISO/DIS 16745	Environmental performance of buildings -- Carbon Metric of a building -- Use stage	En Desarrollo
ISO/CD 21930	Sustainability in buildings and civil engineering works -- Environmental declaration of building products	En Desarrollo

Tabla N° 9.- Normas ISO y CEN en relación con la construcción sostenible. Fuente: Elaboración propia.

2.4.- La arquitectura sostenible y su evaluación.

El concepto de construcción sostenible se centró inicialmente en el sector de las edificaciones. De hecho es en este sector donde se han logrado avances significativos.

La arquitectura sostenible se fundamenta en la concepción del diseño arquitectónico con base en los lineamientos que constituyen el paradigma del desarrollo sostenible, destacando igualmente las tres dimensiones que la componen (Social, Económica y Ambiental) (Figura N° 25).

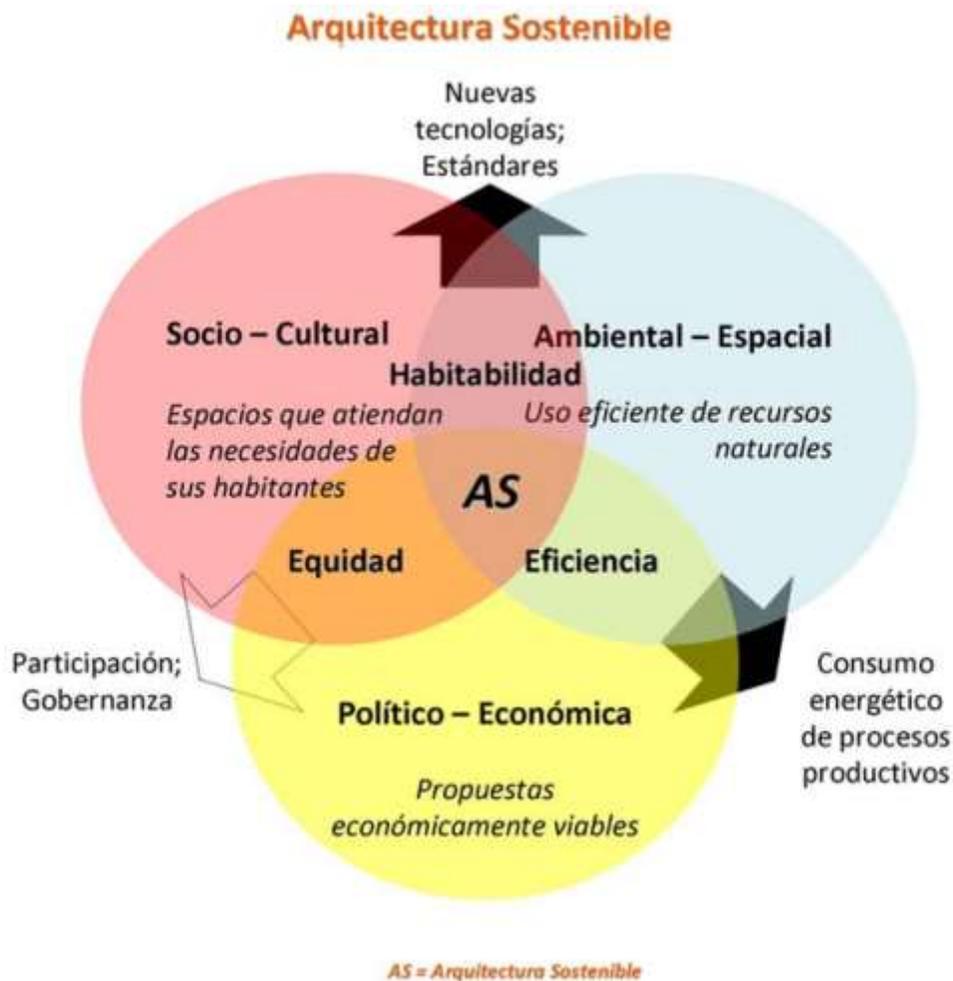


Figura N° 25.- Las dimensiones de la arquitectura sostenibles. Fuente: Pergolis et al., 2011.

Los intentos para homogeneizar los criterios de sostenibilidad en la edificación a nivel global se reflejan en la formación de proyectos europeos como PRESCO (Practical Recommendations for Sustainability Construction) o CRISP (Construction and City Related Sustainability Indicators) que buscan establecer las bases de una construcción sostenible mediante indicadores y estándares que sirvan como referencias. Sin embargo, a nivel general se ha tendido a darle mayor importancia al aspecto ambiental, dejando de lado el social y económico (Alarcón, 2005).

Solís, F. (2006) realiza en su tesis doctoral un meticuloso análisis del sector de la edificación y de su influencia en la sostenibilidad concluyendo que son necesarias herramientas y metodologías innovadoras, claras y sencillas en el sector de la construcción para poder incluir los nuevos conceptos derivados del desarrollo sostenible y las implicaciones del cambio climático.

La aplicación más común de la sostenibilidad en la edificación se ha hecho mediante indicadores. Distintos trabajos han profundizado en el tema (IHOBE, 2010); (Fernández, 2008), donde se afirma que a nivel mundial existen al menos 73 sistemas de indicadores para la evaluación de la sostenibilidad en las edificaciones.

De estos sistemas los más empleados y conocidos son:

El LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) quien emite una certificación de sostenibilidad que es gestionada por el USGBC (United States of Green Building Council) basada en checklist.

El SBTool (Sustainable Building Tool 2007) con una variable para España denominada VERDE. Se basa en criterios – indicadores, y es promovida por IISBE (International Initiative for a Sustainable Built Environment).

El BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) originario del Reino Unido y gestionado por BRE, es el sistema de análisis medioambiental más antiguo que existe y, al igual que LEED, se basa en checklist;

Y el CASBEE (Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency) originado en Japón en el año 2001, está basado en la valoración de impactos utilizando el concepto de eco-eficiencia (relación entre calidad del servicio y cargas ambientales).

Por lo tanto, es claro que el desarrollo de este tipo de herramientas es ya muy común en el campo de las edificaciones, especialmente para la evaluación de la sostenibilidad a nivel del edificio.

2.5.- Los indicadores como elementos clave para la evaluación de la sostenibilidad.

Junto a la creciente popularización del debate sobre la definición del desarrollo sostenible ocurrida a partir de la publicación del Informe Brundtland, ciertos criterios de orden procedimental también han ganado importancia. En términos prácticos, el desarrollo sostenible se percibe menos como un resultado final y más como una senda a seguir.

Por lo tanto, se pone el mayor énfasis sobre los factores que influyen en la toma de decisiones como por ejemplo: la cultura organizativa, la disponibilidad de información, la racionalidad de la toma de decisiones y la utilización de herramientas de evaluación de la sostenibilidad (Ebert et al, 2004).

Los indicadores e índices de sostenibilidad parten de un enfoque basado en la interpretación de la sostenibilidad como una propiedad intrínseca. La principal ventaja de este enfoque consiste en hacer operativo el concepto de sostenibilidad, permitiendo medirlo o evaluarlo, aunque de forma aproximada y no exenta de críticas.

Según la OECD (1993), a nivel general, un indicador es un parámetro que identifica y proporciona información (“un instrumento que indica algo”) acerca de un proceso, con un significado que se extiende más allá del valor directamente asociado al

parámetro. Un indicador cuantifica y simplifica un fenómeno, facilita el entendimiento de realidades complejas e informa sobre cambios en un sistema.

Según Claverias (2000), los indicadores pueden ser cuantitativos o cualitativos. Los indicadores cuantitativos (u objetivos) son aquellos cuantificables de forma exacta o generalizable, pudiendo ser de medida directa o indirecta. A su vez los indicadores cualitativos (o subjetivos) hacen referencia a información basada en percepciones subjetivas de la realidad cuando esta es difícilmente cuantificable.

Tradicionalmente, el empleo de indicadores como medidas de aspectos económicos y sociales ya cuenta con análisis teóricos suficientemente contrastados y susceptibles de aplicación empírica, lo que indica que hay sectores como el urbano, por ejemplo, que ya cuentan con significativos avances en la selección de indicadores de sostenibilidad (Briz, 2004). Sin embargo, como se constató en el estado del arte, es poco el desarrollo alcanzado en el campo específico de la climatización de edificaciones.

Desde que por primera vez el PNUMA estableció un conjunto de indicadores de sostenibilidad en 1995, la idea de emplear indicadores como forma de medir y evaluar la sostenibilidad ha ganado en popularidad, y actualmente se observa varios gobiernos y agencias que dedican sustanciales recursos para el desarrollo e implementación de estos indicadores. Actualmente, la importancia de disponer de indicadores de sostenibilidad radica en la posibilidad de proporcionar a los responsables políticos un instrumento mediante el cual se presente la información, de manera concisa y representativa, de forma que pueda ser entendida y usada fácilmente como base del proceso de toma de decisión política (Moldan et al, 2007).

Frecuentemente, los procesos de selección de indicadores para la evaluación de la sostenibilidad redundan en un conjunto formado por una larga lista de indicadores. Como indica Rigby et al. (2000), el equilibrio en el número de indicadores es un factor que merece especial atención. El autor sugiere evitar el empleo de indicadores que midan lo mismo, o estén integrados en otros, para con ello obtener una lista final con

el menor número de indicadores posible, la cual permita abordar los principales aspectos de la sostenibilidad del sistema que se quiera analizar.

El análisis conjunto de los resultados de un gran número de indicadores conlleva cierto grado de dificultad que no debe ser subestimado. Y por otro lado, un conjunto amplio formado por indicadores muy correlacionados, que directa o indirectamente midan lo mismo, puede inducir al problema de doble contabilidad, que si bien puede ser identificado mediante determinados análisis estadísticos, debe ser evitado mediante una cuidadosa y equilibrada selección inicial de indicadores (Nardo et al., 2005).

Además del factor de equilibrio, el conjunto de indicadores seleccionado debe cumplir algunos principios generales (o criterios de selección). Distintos autores han propuesto los requisitos básicos de selección de indicadores de sostenibilidad (OECD, 1993 y 1999); (Mitchell et al., 1995); (Romstad, 1999); (NRC, 2000), sin con ello proveer las líneas prácticas de su operación y análisis.

2.6.- Problemática de los sistemas de evaluación basados en indicadores.

Existen muchas instituciones a nivel municipal, regional, nacional e internacional, que han ido adoptando diferentes sistemas de indicadores que en su conjunto han conllevado a cinco problemas principales:

- 1.- Existe una gran disparidad de dimensiones e indicadores sin la existencia de un consenso global para su selección (Wilson et al., 2007)
- 2.- No todos los casos integran la participación de la totalidad de actores en el proceso de selección de indicadores (ICLEI, 2002)
- 3.- En muchos casos se observa un alto grado de arbitrariedad en la identificación y selección de indicadores (Singh et al., 2009)

4.- Existen grandes diferencias respecto al número de indicadores (Button, 2002); (GTIS, 2004);

5.- Prevalencia del área ambiental comparada con la social y económica (GTIS, 2004).

Todos estos inconvenientes ocurren a pesar de los esfuerzos internacionales realizados durante la década de los '90 para establecer modelos generales para la generación de indicadores tales como el sistema Pressure-State-Response (PSR) para el desarrollo de indicadores medioambientales de la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OECD), que fue posteriormente desarrollado para indicadores de sostenibilidad en el modelo Driving Forces-State-Response (DSR) por el Departamento de las Naciones Unidas para la Coordinación de Políticas y Desarrollo Sostenible, y el modelo Driving Forces-Press- State-Impact-Response (DPSIR) de la Agencia Europea del Medio Ambiente, Eurostat y la OECD.

En consecuencia, y teniendo en cuenta que el sector de la construcción está evolucionando hacia un incremento del número y tipo de indicadores sociales, económicos y medioambientales (Zhang et al., 2008), y así como se propone en el presente trabajo una metodología de evaluación fundamentada precisamente en un sistema de indicadores, es fundamental abordar las debilidades identificadas y mitigarlas dentro de una metodología robusta que permita su validación en cualquier contexto donde se pretenda su utilización.

2.7.- Métodos de integración de criterios para la valoración final de indicadores de sostenibilidad.

En el apartado se analizarán los principales métodos de integración de los diferentes criterios para su valoración final en un sistema de indicadores de sostenibilidad, a la vez que se define el que se utilizará en la investigación.

La etapa de ponderación o asignación de pesos, permite distinguir la importancia relativa de los distintos indicadores considerados. Aun en los casos en los que

aparentemente no se atribuya pesos a los indicadores de forma explícita, en realidad se estará asumiendo por defecto el mismo peso para todos (Freudenberg, 2003).

No existe un método de ponderación consensuado o aceptado de forma amplia, por lo que existen múltiples opciones técnicas para ello. No obstante, esta falta de consenso en el procedimiento a utilizar para la ponderación de indicadores ha sido la causa que el conjunto de la construcción de índices haya sido criticado por el carácter subjetivo de los métodos empleados, entendidos esencialmente como juicios de valor arbitrarios y capaces de sesgar los resultados finales (Ebert et al, 2004); (Hueting et al, 2004); (Munda, 2005) (Böhringer et al, 2007).

En este sentido, Nardo et al. (2005) y OECD (2008) clasifican las técnicas de valoración como: positivas o normativas

Las técnicas positivas (“estadísticas” o “endógenas”) son aquéllas que permiten la obtención de los pesos de forma endógena, usualmente mediante procedimientos estadísticos que pretenden reflejar la realidad estudiada. Es decir, el propio modelo estadístico genera los pesos de forma implícita. Entre estas técnicas se puede apuntar el análisis de regresión, el análisis de la distancia P2 (DP2), el análisis de la envolvente de datos (DEA), el análisis factorial (AF) y el análisis de componentes principales (ACP). Cabe decir que determinados autores abogan por el empleo de las técnicas positivas para la asignación de pesos como forma de evitar las críticas sobre la arbitrariedad y subjetividad generalmente atribuidas a las técnicas del enfoque normativo. No obstante, conviene recordar que los resultados alcanzados por estas técnicas positivas van a depender, en último término, de la base de datos inicialmente empleada para el análisis, sin incorporar información respecto a la importancia concedida por parte de la sociedad a las diferentes dimensiones de la sostenibilidad, como sí lo permiten las técnicas normativas.

Las técnicas normativas (“participativas” o “exógenas”) pretenden asignar pesos diferenciados a los indicadores en función de la identificación de las preferencias sociales con relación a las tres dimensiones que componen la sostenibilidad, así como entre el conjunto de indicadores pertenecientes a una misma dimensión. Estas

técnicas se consideran normativas en el sentido de que su objetivo final es ofrecer algún tipo de orientación (recomendación o norma establecida de forma exógena al modelo) con respecto a una ordenación (o ranking), completa o parcial, de las alternativas de decisión (preferencias sociales) sobre cada dimensión y cada indicador (Stewart, 1992).

En ese sentido, entre los métodos que identifican las preferencias sociales para obtener los pesos de los indicadores de forma exógena y participativa, Stewart (1992) y Weber et al, (1993) destacan aquellos basados en el consejo de expertos, en las encuestas de opinión pública, en los modelos de regresión múltiple y en los métodos multicriterio, como el proceso analítico jerárquico, la asignación directa de puntos, la ponderación swing, la ponderación tradeoff o el método SMART.

Estos métodos suelen ser criticados aludiendo a su grado de subjetividad, sin embargo, al comparar los resultados de distintas metodologías normativas, (Pöyhönen et al, 2001) concluyen que no se aprecian diferencias significativas entre ellas, por lo que argumentan que en la práctica, la elección de la metodología de ponderación a seguir queda a cargo de las preferencias personales.

Jacobs et al. (2004) recomiendan que, independientemente del enfoque positivo o normativo que se siga, lo importante es que el sistema de ponderación empleado se aplique de forma explícita y transparente.

En este orden de ideas, la metodología de evaluación propuesta en el presente trabajo, donde se debe dar respuesta a problemas decisionales discretos, es decir, problemas de toma de decisiones con un número de alternativas finito, usualmente no muy elevado y que suele evaluarse en base a varios atributos, se adapta adecuadamente a las exigencias de los métodos multicriterio, opción que a su vez posee la mayor solidez teórica entre los mencionados anteriormente (Romero et al, 2000); (Toskano, 2005).

Para la aplicación de un método multicriterio se debe contar con un conjunto de alternativas propuestas o alcanzables que denominaremos E_m , además es necesario

un conjunto de atributos o criterios relevantes A_n para poder resolver el problema. También se obtendrá $m \times n$ puntos, los cuales serán el resultado de la alternativa por cada atributo $R_{m,n}$. El resultado $R_{i,j}$ representará por lo tanto el valor alcanzado por la alternativa i -ésima en relación al atributo j -ésimo, como se muestra en la siguiente estructura matricial.

$$\begin{array}{c}
 \\
 \\
 E_1 \\
 E_2 \\
 \dots \\
 E_i \\
 \dots \\
 E_m
 \end{array}
 \begin{pmatrix}
 A_1 & A_2 & A_3 & \dots & A_j & \dots & A_n \\
 R_{11} & R_{12} & R_{13} & \dots & R_{1j} & \dots & R_{1,n} \\
 R_{21} & R_{22} & R_{23} & \dots & R_{2j} & \dots & R_{2,n} \\
 \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\
 R_{i1} & R_{i2} & R_{i3} & \dots & R_{ij} & \dots & R_{i,n} \\
 \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\
 R_{m1} & R_{m2} & R_{m3} & \dots & R_{mj} & \dots & R_{m,n}
 \end{pmatrix}$$

Esta matriz se conoce como matriz decisional, y se entiende como el basamento fundamental de cualquier análisis multicriterio de tipo discreto.

Un estudio realizado por Garza et al. (2012), donde se realizó un análisis comparativo entre cinco de los métodos multicriterio con mayor relevancia en la actualidad (ELECTRE II, AHP, PRESS II, MEROUTE y Suma Ponderada), concluye que no existen criterios que avalen la superioridad de algún método sobre otro, por lo que todos permiten obtener la mejor alternativa.

Ahora bien, al tratarse del análisis de proyectos de climatización de edificaciones desde su etapa inicial, y dentro del contexto venezolano, no siempre se dispondrá de toda la información cuantitativa necesaria para la completa valoración de algunos indicadores, por lo tanto, y partiendo del principio de que la experiencia y el conocimiento de los actores y/o expertos son tan importantes como los datos utilizados en el proceso (Whitaker, 2007), el Proceso Analítico Jerárquico desarrollado por Saaty (1977 y 1980) como técnica de decisión multicriterio discreta para la toma de decisiones complejas (multidimensionales), se ubica como el método de ponderación más representativo en el contexto de la presente investigación.

De cualquier modo, independientemente del método que se emplee (salvo aquellos comentados en los que se utilizan únicamente los juicios de valor de expertos), la normalización de los diferentes criterios que se estén considerando en el análisis resulta totalmente necesaria. Esta necesidad es básica debido a que en la mayor parte de decisiones las unidades en que se disponen los distintos criterios suelen ser muy diferentes entre sí, los valores alcanzables por los criterios existentes pueden variar mucho, y además la normalización facilita la interacción con el centro decisor (Romero, 1996). Según este autor existen dos procedimientos de normalización muy utilizados. El primero consiste en dividir los valores de cada criterio por su mejor valor (máximo en un atributo de “más mejor” o mínimo en un atributo de “menos mejor”). Otro es la división de los valores por su recorrido (diferencia entre el valor mejor y el valor peor de cada criterio).

Por otra parte, en lo que concierne a esta tesis se asume como método de normalización el planteado por Calderón et al (2009), utilizando un criterio diferente si el parámetro es subjetivo u objetivo y si son atributos cuantificables o no, Lo que garantiza que siempre se obtengan valores normalizados en un rango entre 0 y 1, cosa que no siempre sucedía con los procedimientos comentados anteriormente. De este modo, las fórmulas planteadas para la normalización serían las siguientes:

Para estimaciones subjetiva, puede ocurrir que no sean cuantificables y se basen en una valoración de expertos o que sí sean cuantificables mediante algún indicador que esté relacionado con el atributo en cuestión.

En el primer caso, si el criterio subjetivo no es cuantificable, se busca la diferencia de valores resultantes con la fórmula tipo 1:

- 1A. Si el valor superior (V_s) es el mejor:
$$P = 10 \frac{(V_x - V_i)}{(V_s - V_i)}$$

- 1B. Si el valor superior (V_s) es el peor:
$$P = 10 - 10 \frac{(V_x - V_i)}{(V_s - V_i)}$$

- En el segundo caso, si el criterio es subjetivo y cuantificable, se busca diferenciar los valores resultantes de manera intermedia con una fórmula tipo 2:

- 2A. Si el valor superior (V_s) es el mejor:
$$P = 10 \frac{V_x}{V_s}$$

- 2B. Si el valor superior (V_s) es el peor:
$$P = 10 \frac{V_i}{V_x}$$

En el tercer caso, si el criterio es objetivo, se busca diferenciar los valores resultantes de manera poco apreciable con una fórmula tipo 3:

- 3A. Si el valor superior (V_s) es el mejor:
$$P = 5 + 5 \frac{(V_x - V_i)}{(V_s - V_i)}$$

- 3B. Si el valor superior (V_s) es el peor:
$$P = 10 - 5 \frac{(V_x - V_i)}{(V_s - V_i)}$$

Donde:

V_x Se refiere al valor que se quiere normalizar

V_s Se refiere al valor superior

V_i Se refiere al valor inferior del atributo que se esté normalizando.

2.8.- Síntesis del capítulo

Se comienza el capítulo profundizando en las distintas discusiones, enfoques, conceptualizaciones y referentes asociados al tema propuesto como trabajo de investigación. Se profundiza en el paradigma del desarrollo sostenible tomando en consideración los distintos aspectos y argumentaciones que han ido construyendo el concepto, hasta llegar a las más recientes aproximaciones que lo complementan.

El aspecto ético por su parte, se desarrolla ampliamente en este capítulo, en el entendido que el desarrollo sostenible debe ser la respuesta ética en el campo profesional, por lo que el arquitecto ético dependería directamente de la sostenibilidad de su obra, lo que implica que el tema de investigación propuesto, se justifica per sé, como respuesta al problema ético del profesional de la arquitectura.

Asimismo se profundiza en la normativa asociada a la sostenibilidad de las edificaciones, recurriendo a una revisión internacional de los estándares más representativos para el trabajo, debido a que en el país no existe ninguna vigente que se refiera al sector construcción y/o edificaciones.

Además se desarrolla el tema de la evaluación de la sostenibilidad en edificaciones, profundizando en el estudio de los sistemas más empleados y conocidos a nivel mundial, con especial énfasis en el sistema de indicadores, al contar éste con análisis teóricos suficientemente contrastados y susceptibles de aplicación empírica y que a pesar de la existencia de una amplia discusión sobre su fiabilidad como mecanismo de evaluación de la sostenibilidad, al abordar sus problemas y debilidades, puede convertirse en una herramienta de gran relevancia.

Finalmente se analizan los métodos de integración de criterios para la valoración final de indicadores de sostenibilidad. Donde se asume que el Proceso Analítico Jerárquico, como técnica de decisión multicriterio discreta para la toma de decisiones complejas (multidimensionales), se ubica como el método de ponderación más representativo en el contexto de la presente investigación. A la vez que se definen las fórmulas de normalización a utilizar.

CAPITULO 3. MARCO METODOLÓGICO

La consideración de los criterios sostenibles en la evaluación de proyectos de climatización de edificaciones se fundamenta en la necesidad de poder clasificar dentro del paradigma de la sostenibilidad, a tecnologías tradicionales y alternativas como ayuda en la toma de decisiones. Sin embargo, como se ha presentado en los capítulos anteriores, se observa una ausencia de metodologías para la identificación de indicadores de sostenibilidad relacionados con la climatización de edificaciones, a la par que no existe una norma o estándar que defina una metodología científico-técnica universalmente aceptada. En este sentido, la metodología planteada pretende generar un aporte en el modo de identificar, seleccionar y priorizar estos indicadores, en respuesta a una de las principales críticas de los sistemas de evaluación basados en indicadores (Singh et al., 2009), que radica precisamente en los métodos de selección.

Por otra parte se encuentra el análisis de estos indicadores como atributos pertenecientes a una decisión multicriterio, donde se deben valorar las distintas alternativas relacionadas a las tecnologías de climatización, que luego deberán ser validadas a través de su aplicación en un caso de estudio. En todo caso, a continuación se presentan las particularidades de la propuesta metodológica, así como la fundamentación epistemológica – ontológica en la que se enmarca la tesis doctoral.

3.1.- Fundamentación Epistemológica - Ontológica.

A pesar del éxito en la observación y comprensión de muchos fenómenos, el enfoque científico y tecnológico muestra deficiencias importantes en la gestión de los problemas de la "complejidad" (Weaver, 1948).

El planeta protagoniza profundos cambios tanto a escala local como global, y en el ámbito humano como ambiental, lo que denota un período de extraordinaria turbulencia que refleja el origen e intensificación de los cambios económicos, sociales, políticos y culturales asociados a la revolución que se vive en la actualidad. Además, la velocidad y magnitud de los cambios, la progresiva interconexión de los sistemas sociales y naturales a nivel planetario, y la creciente complejidad de las sociedades y de sus impactos sobre el ambiente, dan como resultado un alto nivel de incertidumbre e imprevisibilidad.

Es evidente que la complejidad de las situaciones y problemas está aumentando rápidamente (Gallopín et al. 2001), (Munn et al. 1999). Esto se debe principalmente a cambios ontológicos, que los expertos asocian a la globalización e interconexión de la sociedad moderna (Gallopín, 2004). Y a cambios epistemológicos impulsados por las teorías de la complejidad y el pensamiento postmoderno (Maldonado, 2009) los cuales conllevan al cuestionamiento creciente de la ciencia frente a los nuevos desafíos de la humanidad, en búsqueda de explicaciones dinámicas de problemas sistémicos (Lubchenko, 1997).

En este sentido, son muchos y divergentes los puntos de vista acerca de la investigación científica en general. Hasta ahora nadie posee la autoridad para imponer lineamientos estrictos y específicos respecto a cómo debe investigarse, más allá del concepto generalizado de que una investigación, a través de un proceso controlado, debe contribuir a la generación de conocimientos que sean factibles de comunicar, replicar y evaluar.

Lo que sí está claro es el reto que en los tiempos postmodernos implica la investigación en el campo de la sostenibilidad, para un correcto abordaje y

comprensión de las múltiples relaciones existente entre elementos y variables de cada una de las dimensiones, que en definitiva lo que buscan es la interpretación y comprensión de la realidad.

Lo esencial es entender que el universo está constituido básicamente por sistemas no lineales en todos sus niveles: físico, químico, biológico, psicológico y sociocultural.

"Si observamos nuestro entorno vemos que estamos inmersos en un mundo de sistemas. Al considerar un árbol, un libro, un área urbana, cualquier aparato, una comunidad social, nuestro lenguaje, un animal, el firmamento, en todos ellos encontramos un rasgo común: se trata de entidades complejas, formadas por partes en interacción mutua, cuya identidad resulta de una adecuada armonía entre sus constituyentes, y dotadas de una sustantividad propia que trasciende a la de esas partes; se trata, en suma, de lo que, de una manera genérica, denominamos sistemas" (Aracil, 1986).

Bertalanffy et al. (1981) señala que desde el átomo hasta la galaxia nuestro mundo está constituido por sistemas y, por consiguiente, necesitamos usar una ontología de sistemas.

Si un elemento de una estructura dinámica o sistema está relacionado con los demás, si todo es función de todo, y si cada elemento es necesario para definir a los otros, no podrá ser visto ni entendido en forma aislada o descontextualizada, sino a través de la posición y de la función o papel que desempeña en la estructura. Más aún se evidenciará esta situación cuando estos procesos se entrelazan, interactúan y forman un todo coherente y lógico, por lo que es fundamental un enfoque holista e interdisciplinario de la realidad (Martínez, 2008).

Con base en lo anterior el enfoque positivista se debilita cuando de sus preceptos se desprende la comprensión de que variables como la ambiental pudiesen ser manipulables (Labra, 2013). Fourez (1996) considera que es posible definir al positivismo a través de tres ideologías que lo estructuran: 1.- "ideología de la

inmediación”, es decir, una creencia en la posibilidad de un contacto directo “con lo real”, sin que ninguna interpretación sea hecha. 2.- “ideología de la universalidad neutra”; que significa una creencia en una ciencia objetiva y neutra, que, cuando se practica correctamente, sería universal e independiente de todo punto de vista. Y 3.- “una ideología de la verdad, reflejo del mundo real, tal como es”, que se entiende como un enfoque donde lo real existe y se le descubre.

Por lo tanto, se entiende que bajo la concepción positivista todos los fenómenos de investigación serían mensurables y clasificables. Lo que los aleja de las nuevas teorías de la complejidad y la visión de sistemas, las cuales, entre otras implicaciones, han propiciado un cambio de enfoque en donde la noción de cantidad, han ido perdiendo terreno ante la importancia en determinar las relaciones que pudieran estar implícitas.

Esta realidad se ve reflejada en el intento de las matemáticas actuales por dar respuesta a estos fenómenos complejos mediante la creación de técnicas estadísticas multivariadas más refinadas, así como el desarrollo de las ecuaciones diferenciales. Sin embargo, según Martínez (1995) estas técnicas igual necesitan (porque así lo exige la naturaleza misma de la matemática cuantitativa) partir de la medición de elementos aislados, aceptar la aleatoriedad de los mismos, aplicar la propiedad aditiva y aplicar la propiedad conmutativa, características todas reñidas con la ontología sistémica.

El enfoque matemático como instrumento cognoscitivo universal, tiene muchos detractores al considerarlo incapaz de expresar tanto la esencia como la naturaleza de las realidades (Hegel, 1966). Sin embargo, Martínez (2008) considera que si el elemento o fenómeno a estudiar puede ser descontextualizado de la estructura o sistema personal o social sin que pierda su esencia o desvirtúe su naturaleza, las técnicas matemáticas actuales si pueden y deben usarse legítima y eficazmente.

En toda esta discusión el pensamiento constructivista se sitúa en una epistemología descriptiva, evolutiva o genética, que adquiere gran auge al interesarse mucho más en el problema de las significaciones y la construcción de la realidad. Según

Glaserfeld (1988), el pensamiento constructivista rompe con lo convencional y ordinario, desarrollando una teoría en donde el conocimiento no refleja una realidad ontológica “objetiva” sino el ordenamiento y la organización de un mundo constituido por nuestra experiencia.

Por su parte, Camejo (2006) considera que el constructivismo es un enfoque que dentro del quehacer epistemológico científico actual se ubica como de los más adecuados para el abordaje científico de los fenómenos que caracterizan la era postmoderna, siendo la visión de la sostenibilidad, un ejemplo claro de ello. Así pues, a partir de un análisis epistemológico, Labra (2013) afirma que el constructivismo, caracterizado por su apertura intelectual, permite la inclusión de todas aquellas dimensiones que rigen el funcionamiento de una sociedad o sistema.

En este sentido, al estudiar las distintas corrientes del pensamiento en el área de la investigación científica, y entendiendo sus principios ontológicos y epistémicos, entendiendo que el constructivismo no se opone al positivismo, ante la intención de desarrollar una metodología de investigación de tecnologías de climatización de edificaciones en el marco de la sostenibilidad, se asume entonces el enfoque constructivista con una visión Holística al estudiar la realidad a nivel global sin fragmentarla; Inductivo ya que las categorías, patrones e interpretaciones se construirán a partir de la información obtenida y no a partir de teorías o hipótesis previas; E Idiográfico al orientarse a comprender e interpretar lo singular de los fenómenos. Esto al considerarse es la línea del pensamiento que más se adapta a los objetivos perseguidos en la presente investigación.

3.2.- Diseño y método de la investigación

El diseño de la investigación se define como no experimental ya que las inferencias sobre las relaciones se observarán tal cómo se encuentren en su contexto natural. Y de carácter transeccional, (exploratoria – descriptiva) ya que busca recolectar información de un fenómeno o situación en un momento determinado.

En cuanto al método a utilizar será el hermenéutico-dialéctico ya que se considera el más adecuado para descubrir las estructuras y los sistemas dinámicos que dan razón de los eventos que serán observados, así como la interpretación de su significado.

3.3.- Propuesta Metodológica

La propuesta metodológica comienza con el desarrollo de una fase preliminar que contempla la realización del estado del arte, respecto a modelos y herramientas de evaluación existentes en el marco de la sostenibilidad de las edificaciones, analizando la problemática, vacíos existentes y oportunidades en el campo de la climatización, mediante una revisión sistemática de la información científica disponible en el área.

Asimismo, en esta fase preliminar se define el marco conceptual del paradigma del desarrollo sostenible y sus implicaciones en la climatización de edificaciones a nivel ambiental, económico y social, incluyendo los aspectos éticos relacionados al tema, como marco teórico que fundamenta la investigación.

Una vez culminada esta fase preliminar, se procede al planteamiento de una metodología de identificación, priorización y selección de indicadores, cuyo objetivo es la identificación de todos los indicadores que pudieran estar relacionados con la climatización de edificaciones, para posteriormente realizar su categorización y priorización, que pudiera llevar incluso a desechar algunos de los previamente identificados. El siguiente paso consistirá en la evaluación tanto a nivel individual (indicador a indicador) como a nivel general (multicriterio) para obtener una clasificación y selección de los mejores desde el punto de vista de la sostenibilidad.

La metodología propuesta constará entonces de ocho (8) etapas que se distribuyen a su vez en tres (3) grandes fases: 1.- Estado del arte de la investigación; 2.- Desarrollo del marco teórico referencial; 3.- Identificación de indicadores de sostenibilidad en el campo de la climatización de las edificaciones; 4.- Análisis de los indicadores propuestos y su priorización; 5.- Selección final de indicadores clave; 6.-

Evaluación individual y global de las técnicas de análisis multicriterio para conjuntos discretos y la aplicación de la opción más plausible en la evaluación del grupo de indicadores seleccionados finalmente; 7.- Validación del modelo propuesto mediante su aplicación en el caso venezolano para comprobar su funcionalidad, aplicabilidad y sensibilidad; 8.- Generar recomendaciones y conclusiones a partir de los resultados de la aplicación de la metodología con miras en futuras investigaciones en este campo (Figura N° 26).

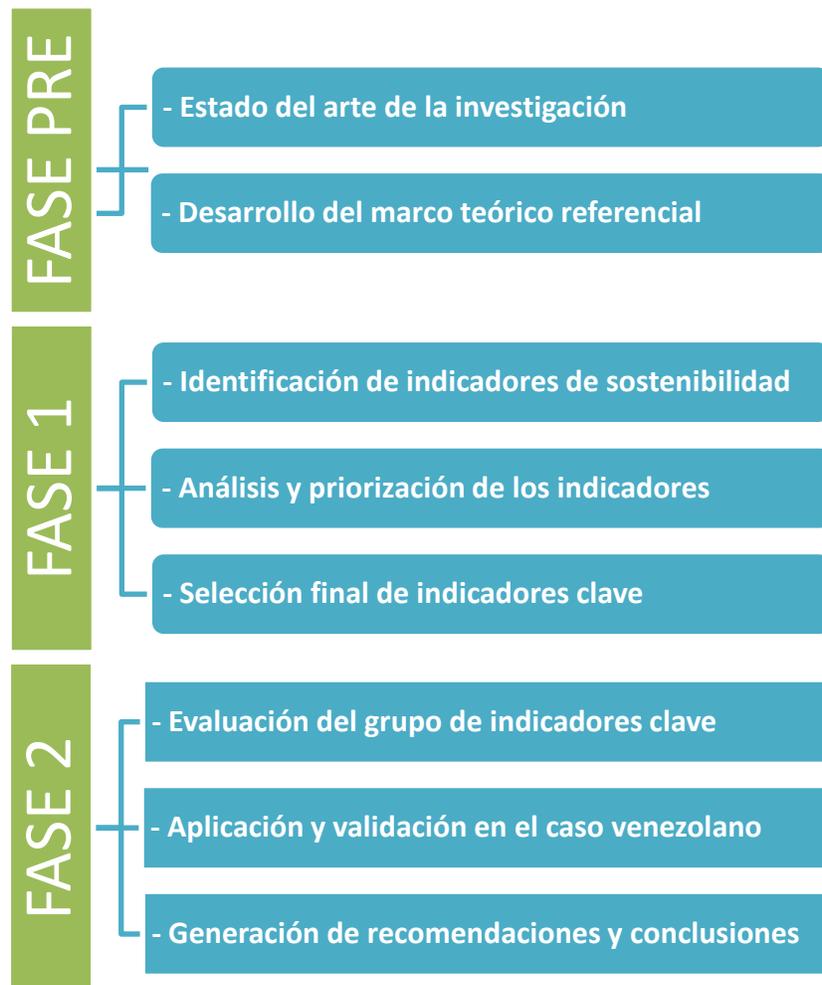


Figura N° 26.- Esquema de la propuesta metodológica. Fuente: Elaboración Propia.

Por lo tanto se entiende que la fase preliminar corresponde a todo el basamento teórico en el que se sustenta la investigación, mientras que la fase 1 corresponde a

la conceptualización, diseño y puesta en marcha de la metodología propuesta para la selección de indicadores clave, y la fase 2 se enfoca en su evaluación y validación a través de la aplicación en el caso venezolano, para así proceder finalmente a su discusión.

3.3.1.- Fase I: Identificación, priorización y selección de criterios

En esta fase se pretende identificar todos aquellos criterios asociados a la sostenibilidad, que pudiesen ser pertinentes para el establecimiento de indicadores relacionados al campo de la climatización de las edificaciones.

En este sentido, luego de revisar las normas de referencia en el campo de la sostenibilidad de las edificaciones, se asumió como marco para la investigación la norma ISO 21929-1 “Sustainability in building construction - Sustainability indicators”, la cual se tomará como guía para la correcta identificación de los criterios de sostenibilidad a tomar en cuenta dentro del campo que nos concierne, garantizando: 1.- Que los indicadores sean, en lo posible, internacional, nacional y regionalmente comparables; 2.- que se identifiquen todas las dimensiones involucradas en el campo de estudio; 3.- que se considere el ciclo de vida siempre que sea posible en cada indicador.

Es importante resaltar que esta normativa establece un marco para los indicadores de sostenibilidad en edificaciones a nivel global, sin embargo, debido a la inexistencia de una normativa particular en el campo de la climatización, y considerando que de existir en el futuro seguirá los mismos patrones que rigen el paradigma de la sostenibilidad, se ha considerado pertinente su uso en este trabajo (Figura N° 27).



Figura N° 27.- Contexto normativo base de la propuesta. Fuente: Elaboración Propia.

Con el marco normativo establecido y siguiendo el diagrama de la Figura N° 28, el primer paso será identificar todos los factores con influencia en los aspectos sostenibles en el campo de la climatización, para luego establecer los indicadores correspondiente en cada una de las área de potencial interés.



Figura N° 28.- Esquema de la primera fase de la propuesta metodológica. Fuente: Elaboración Propia.

Para esta primera etapa se propone utilizar las siguientes técnicas:

1.- Revisión de documentación: se trata de una selección de la información existente y una revisión estructurada de la misma en busca de los distintos aspectos ambientales, sociales y económicos, que pudieran intervenir en la sostenibilidad en el campo de la climatización de edificaciones. Dentro de esta técnica, se proponen dos aplicaciones diferentes:

- Bibliografía científico-técnica, de acuerdo a las publicaciones científicas y técnicas existentes donde se desarrollen herramientas o sistemas de indicadores que puedan servir de entradas al proceso, así como la consulta de experiencias profesionales publicadas en el sector.
- Legislación de acuerdo a la revisión de la normativa relativa a los aspectos sostenibles en el caso de estudio, pues se considera refleja la experiencia asentada en las diferentes áreas de conocimiento y la importancia de las líneas políticas y estratégicas de un país o región.

2.- Recopilación de información mediante encuestas: Con el fin de recoger los puntos de vista de los actores que se consideren clave. En este sentido se propone que las encuestas estarán dirigidas no solo a expertos en las distintas áreas de interés, que pudieran ser, investigadores, fabricantes, especialistas, arquitectos, ingenieros, representantes de organizaciones ambientales, entes del estado, etc. con el fin de obtener una visión integral del problema y en cada una de sus dimensiones (Económica, social y ambiental). En todo caso la encuesta debe estar enfocada a que el encuestado proponga factores e indicadores de sostenibilidad en el área de estudio, por lo que no se pretende valore o califique ninguno de ellos.

3.- Recopilación de información mediante tormenta de ideas o Brainstorming: Se realizarán con un grupo multidisciplinar de expertos que no deben pertenecer al equipo de investigación. La técnica de brainstorming consiste en la generación de ideas de una manera rápida acerca de los indicadores de sostenibilidad bajo el control de un facilitador que se encarga de guiar a los expertos en la búsqueda de esas ideas.

4.- Análisis de tecnologías de climatización: se prevé a través del desarrollo de una lista de control con posibles indicadores, basados principalmente en la información histórica y el conocimiento acumulado por el equipo de investigación del área de requerimientos de habitabilidad de las edificaciones del Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción (IDEC) de la Universidad Central de Venezuela, referente a las tecnologías de climatización denominadas activas, cuasi pasivas y pasivas, con relevancia dentro del contexto climático venezolano.

5.- Comparación con otras áreas y otras herramientas existentes: Se estudiará la documentación existente y las experiencias tangibles en otras áreas como las edificaciones y el sector energético, con miras en identificar aquellos indicadores de interés que se utilicen habitualmente en estos sectores, y que pudiesen ser pertinentes en el campo de la climatización.

El establecimiento de estas cinco técnicas se basa principalmente en la revisión del marco teórico en cuanto a la selección de indicadores de sostenibilidad y la norma

ISO 21929-1 utilizada como marco de actuación. Cada técnica se debe aplicar de un modo independiente a las demás, sin que una técnica o lista influya sobre las otras, en definitiva se espera obtener una lista por cada técnica propuesta, tal como se muestra en el esquema de la Figura N° 29. De este modo, se generarán un total de siete listas con posibles indicadores para la evaluación de las sostenibilidad en el campo de la climatización, con base en la participación de todos los actores.

Lo que se pretende es que a través de todas las técnicas propuestas se construya un modelo que permita la obtención de indicadores, que a pesar que en mucho de los casos pudieran repetirse, arroje también aquellos no comunes o no contemplados hasta el momento.

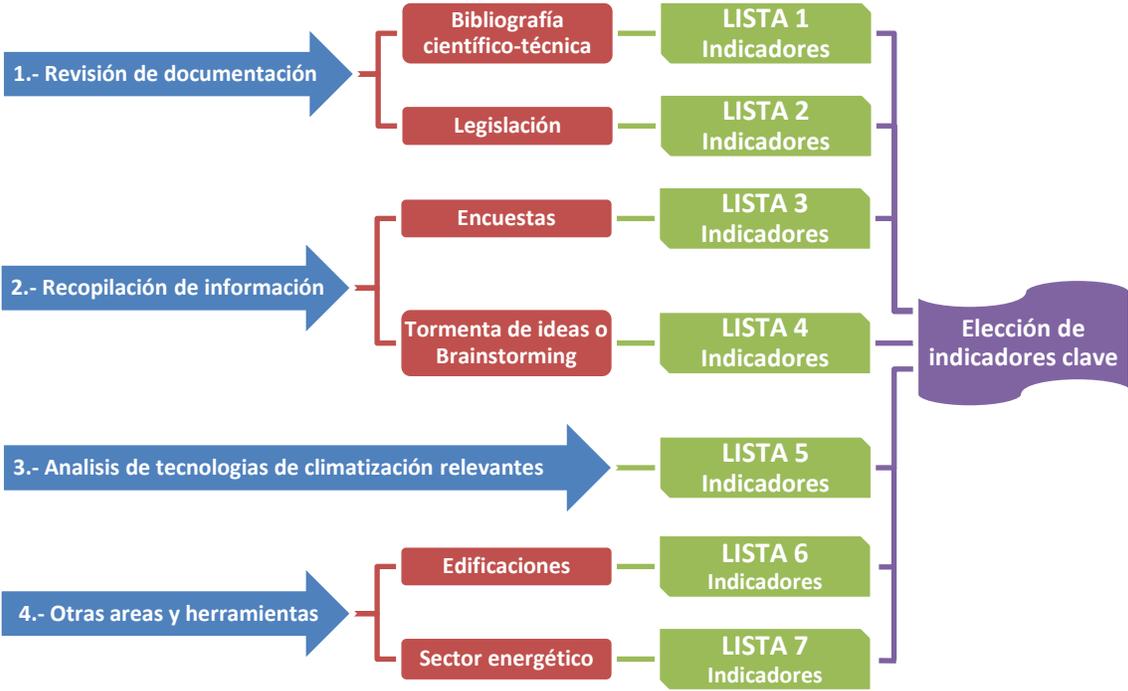


Figura N° 29.- Esquema para identificación de indicadores. Fuente. Elaboración Propia.

Muchos de los indicadores obtenidos en esta etapa podrían no ser pertinentes o factibles para el estudio, por lo que se deberá realizar una clasificación preliminar de todos los criterios identificados en las siete listas anteriores mediante la realización de una estructura desagregada de trabajo (EDT) donde queden registrados la globalidad de indicadores y criterios de sostenibilidad. La estructura

jerárquica de desglose se realizará con base en el esquema de pilares o dimensiones del desarrollo sostenible (Económica, Ambiental y Social) (figura N° 30), y deberá ser flexible para permitir la retroalimentación continua (aumento o disminución de los registros), con miras en que se convierta en base de datos para futuras aplicaciones y evaluaciones de sostenibilidad en el campo de la climatización de edificaciones.

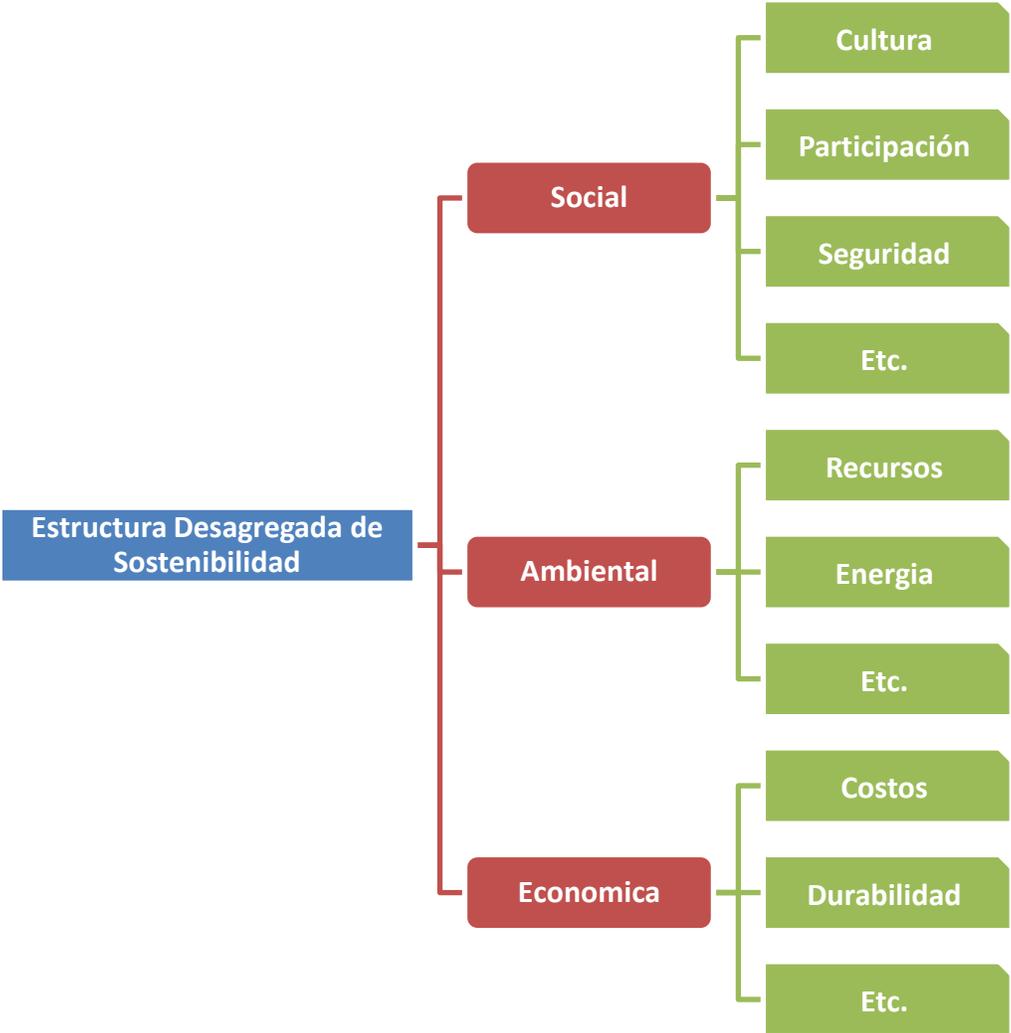


Figura N° 30.- Ejemplo de estructura desagregada basada en los tres pilares del desarrollo sostenible. Fuente. Elaboración Propia.

Para la clasificación de los indicadores siguiendo los pilares del desarrollo sostenible se tomará la estructura planteada en la norma ISO de indicadores de sostenibilidad, respecto al área ambiental, social y economía (Tabla N° 10).

Ambiental	Social	Económica
<ul style="list-style-type: none"> o Consumo de recursos o Residuos o Olores o Ruidos o Emisiones al agua o Emisiones al aire o Emisiones al suelo o Riesgos ambientales 	<ul style="list-style-type: none"> o Nivel comunidad o Nivel proyecto-trabajadores o Nivel global o Cooperación con usuarios o Estudio de necesidades o Consideraciones culturales o Formación 	<ul style="list-style-type: none"> o Inversión o Productos o Consumo (energético, agua) o Coste en el ciclo de vida o Ingresos generados o Aspectos a corto plazo o Aspectos a largo plazo

Tabla N° 10.- clasificación de los indicadores de sostenibilidad según Norma ISO 21929-1 Fuente: Elaboración propia.

Además de esta clasificación mediante las estructuras de desglose, se propone la posibilidad de realizar la descripción de cada indicador en la búsqueda de su máxima caracterización. Esto también con base en los lineamientos de la norma ISO 21929.

En cuanto a la primera priorización de las variables identificadas y clasificadas se llevará a cabo mediante el agrupamiento de criterios semejantes en uno mismo (macro- indicador) de manera que cada elemento identificado sea lo más independiente posible del resto. Así, el resultado de este proceso se verá reflejado en una nueva estructura desagregada de trabajo.

Respecto a la existencia de correlación entre los indicadores, un conjunto amplio formado por indicadores muy correlacionados, que directa o indirectamente cuantifiquen la misma realidad, puede inducir al problema de doble contabilidad en la etapa de agregación, reduciendo la fiabilidad del índice calculado. De ese modo, se hace necesario el empleo de métodos estadísticos que identifiquen previamente la existencia de dichas correlaciones, con el objeto de reducir el conjunto inicial de indicadores a aquellos que desde el punto de vista estadístico mejor representen los indicadores excluidos. Según OECD (2008), las principales técnicas empleadas para ello son el Análisis de Componentes Principales (ACP), Análisis Jerárquico AHP, el Análisis Factorial (AF) y el Coeficiente Alfa de Cronbach (c-alpha).

Para los casos en los que se identifiquen indicadores muy correlacionados, Nardo et al. (2005a y 2005b) y OECD (2008) recomiendan que previamente a la etapa de agregación, se descarten algunos indicadores para evitar incurrir en el problema de doble contabilidad. No obstante, en lugar de descartar indicadores, Smith (2002) recuerda que la inclusión de indicadores que presenten correlación perfecta sí puede realizarse, basta con asignarles pesos distintos.

En este sentido, como segunda y definitiva priorización para la valoración de la importancia relativa y la consiguiente asignación de pesos, se pretende utilizar el modelo de análisis jerárquico, tomando como base la última estructura desagregada obtenida. El objetivo de esta segunda priorización es lograr obtener la importancia relativa de cada indicador de sostenibilidad en el campo de la climatización de edificaciones.

Al realizar ambas priorizaciones, se culminará con la selección del conjunto de indicadores clave, bajo la premisa de que sean manejables en número y funcionales en su aplicación (Bossel, 2001). Para lo cual se asumirá lo planteado por Fernández et al., (2010), quienes a través del principio de Pareto afirman que el 80 % de los objetivos de la sostenibilidad se pueden alcanzar con solo el 20% de las oportunidades.

3.3.2.- Fase II: Validación del sistema de indicadores

A partir del conjunto de indicadores seleccionado se propone la evaluación del sistema de indicadores de acuerdo al marco de trabajo, el análisis de la distribución de las variables según el concepto sostenible, así como posteriormente la evaluación de los indicadores y del sistema integral conjuntamente. Por último, se aplicará en el caso venezolano para finalizar su validación y se terminará con el análisis de resultados. Esta segunda fase correspondería al esquema de la Figura N° 31.

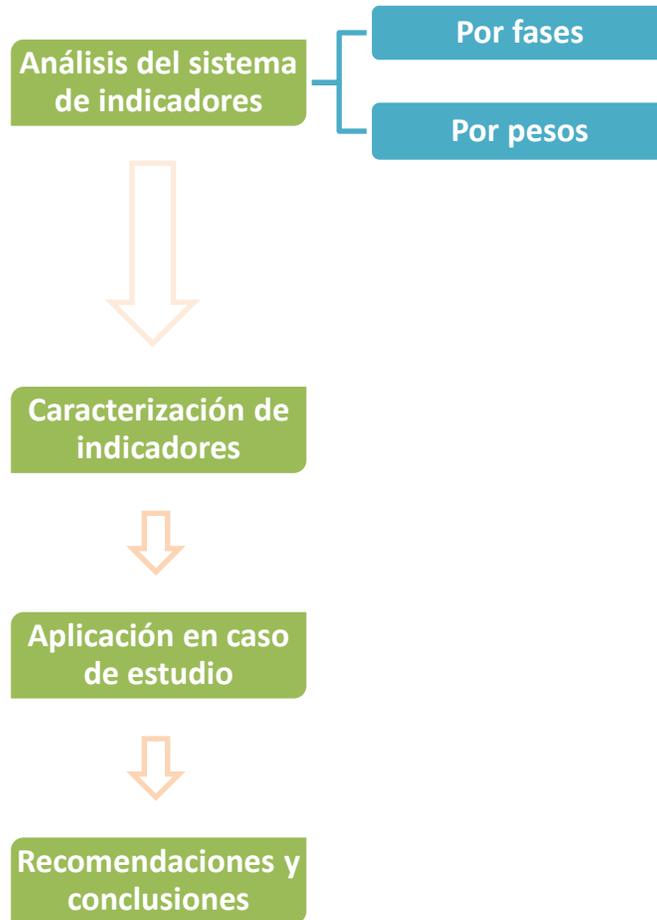


Figura N° 31.- Esquema de la segunda fase de la propuesta metodológica. Fuente. Elaboración Propia.

Los requisitos que debe cumplir el sistema de indicadores de sostenibilidad son, de acuerdo a la normativa ISO 21929-1, los siguientes:

- Los indicadores seleccionados deberán describir los impactos esenciales sobre el ambiente, la economía y la sociedad.
- La relevancia de los indicadores seleccionados deberán ser justificados, razonados y validados.
- El proceso de desarrollo y aplicación de los indicadores deberá ser totalmente transparente.

Se definen además unos principios de actuación genéricos en los indicadores de sostenibilidad. Según Fernández (2008) un sistema de indicadores de sostenibilidad debe tener las siguientes características:

- Simplicidad, debe ser un sistema manejable, funcional y sencillo.
- Alcance, el sistema de indicadores debería cubrir la diversidad de temas relacionados con la sostenibilidad (temas ambientales, sociales y económicos) y solaparse lo menos posible.
- Cuantificación, los indicadores deben ser medibles de algún modo (cualitativa o cuantitativamente).
- Análisis, debe permitir marcar tendencias según los distintos indicadores seleccionados.
- Sensibilidad, el sistema de indicadores debe ser sensible a los cambios.
- Oportunidad, debe permitir la identificación en el tiempo de tendencias y oportunidades de mejora.

Al pretender certificar una tecnología de climatización mediante un sistema de indicadores, es necesario determinar una “banda de equilibrio”, donde se establece lo que se considera como sostenible. Es decir, por debajo de esa banda de equilibrio se considera que no es sostenible o que no cumple el mínimo legal (en caso de existir para un indicador dado). En la propia banda se encuentran todos aquellos valores que se consideran como sostenibles, con distintos grados: desde el mínimo hasta el máximo. Los modos de llegar de uno a otro puede realizarse mediante funciones gráficas (como las funciones de valor desarrolladas para el sector de la edificación industrial por Alarcón, 2005), según se considere el esfuerzo para mejorar en cada indicador.

Así, en relación a estas funciones gráficas o de valor de cada indicador se suelen considerar funciones logarítmicas para aquellos indicadores en los que con un pequeño esfuerzo en el inicio por mejorar su valoración aumenta en mucho su

puntuación, mientras que cerca del final de la banda de equilibrio, una mejora en el indicador no va a suponer un aumento significativo en la puntuación. En muchos casos, se suele utilizar una función lineal que una el punto máximo con el mínimo, o también mediante una función discontinua con saltos según el tipo de indicador que se trate. Debido a que los indicadores de sostenibilidad suelen ser indicadores emergentes muy novedosos, estos valores máximos y mínimos suelen ser muy difusos, no suelen estar normalizados y varían mucho con el tiempo por lo que es necesario, para asegurar la fiabilidad y la eficiencia de los mismos, el control continuo y la retroalimentación del sistema de indicadores tras cada evaluación para calibrar la banda de equilibrio.

La definición de esta banda de equilibrio, su función de valor, su gráfica, sus unidades y su modo de evaluación debe ser analizado en profundidad para cada indicador y de acuerdo a los involucrados en el proceso o el centro decisor del proyecto o actividad que se esté evaluando. Como Bell et al. (2008) indican, la elección de esta banda de equilibrio es una de las tareas más complejas pero necesarias en toda evaluación o certificación.

En los casos como los planteados en esencia en el presente trabajo, en donde no se lleve a cabo la evaluación de una tecnología de climatización específica para su certificación con respecto a un rango absoluto definido en la “banda de equilibrio”, sino se pretenda simplemente analizar y evaluar distintas soluciones de manera relativa, la “banda de equilibrio” no es tan importante, pues ésta sirve principalmente para comparar una tecnología con unos valores estándar absolutos. En este sentido, el análisis comparativo de distintas tecnologías de climatización en un caso de estudio determinado o proyecto de construcción, no requeriría de la estimación de una “banda de equilibrio”, ya que sus comparaciones relativas correctamente ponderadas y normalizadas, podrán ser consideradas como suficientes para la evaluación de su sostenibilidad relativa.

En cuanto a las funciones de evaluación de cada indicador serán muy variables y dependerán siempre de la tipología del propio indicador. En este sentido, se tendrá que diferenciar entre; 1.- aquellos de carácter subjetivo no cuantificables, que

deberán ser valorados mediante un juicio de expertos; 2.- Los subjetivos cuantificables seleccionando algún sub-criterio relacionado con el indicador en cuestión para su valoración; y 3.- los indicadores objetivos y cuantificables que se tratará de calcular con la máxima precisión que sea posible.

Respecto al análisis de los indicadores en su conjunto y de manera integral, se propone el análisis detallado de los métodos multicriterio, para el caso de conjuntos discretos, al considerar estos como los más adecuados en función de la naturaleza de los datos que se esperan obtener.

3.4.- Síntesis del capítulo

El capítulo comienza con la fundamentación Epistemológica – Ontológica, que da paso al desarrollo de la propuesta metodológica fundamenta en varios estándares y normas relacionados con la construcción sostenible.

Compuesta por dos fases fundamentales, se plantea inicialmente la conceptualización, diseño y puesta en marcha de la metodología propuesta para la selección de indicadores clave, mientras que en una segunda se pretende su evaluación y validación a través de la aplicación en el caso venezolano, permitiendo así proceder a la discusión de los resultados.

Tomando en consideración el estado del arte desarrollado en los capítulo anteriores, se propone una clara relevancia en la fase de identificación, priorización y selección de indicadores considerando el ciclo de vida de un proyecto de climatización de edificaciones. Para finalmente obtener un grupo de indicadores manejables, a través de la aplicación del principio de Pareto, donde el 80 % de la sostenibilidad, debería estar representada en tan sólo un 20% del universo total de indicadores seleccionados.

Finalmente, la profundización de la metodología se llevará a cabo en los próximos capítulos, con la aplicación de la propuesta metodológica y, sobre todo, con la aplicación en el caso de estudio seleccionado dentro del contexto venezolano.

CAPITULO 4. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN PROPUESTA

A continuación se presenta la aplicación de la metodología propuesta en el capítulo anterior para obtener el conjunto de indicadores clave a utilizar para la evaluación de la sostenibilidad de tecnologías de climatización en el caso venezolano.

Se comenzará con la identificación hasta llegar a la selección definitiva de los indicadores, culminando con el establecimiento de las técnicas y métodos más apropiados para su aplicación, de acuerdo a los resultados obtenidos.

4.4.- Identificación de indicadores de sostenibilidad.

Para la identificación de los indicadores se recurre a las cuatro técnicas definidas en el marco metodológico.

4.4.1.- Técnica 1: Revisión de Documentación.

Para la aplicación de esta técnica se recurre a la busque de información en fuentes técnico-científicas a nivel mundial, así como en la legislación referencial para el caso de estudio seleccionado, pues se considera refleja la experiencia asentada en las

diferentes áreas del conocimiento y la importancia de las líneas políticas y estratégicas de un país o región.

4.4.1.2.- Documentación técnico-científica.

La revisión estableció como premisa la consulta de trabajos publicados entre los años 1998 y 2015, considerando toda información científica disponible arbitrada por pares y cuyo texto estuviera disponible en versión completa.

La búsqueda se realizó a través de las base de datos electrónicas EBSCOhost que incluye: Academic Search Complete; ACS Publications--Journal Search; Annual Reviews; Business Source Complete; CINAHL; Education Research Complete; Environment Complete; ERIC; Fuente Académica Premier; Humanities International Complete; Legal Collection; MasterFILE Premier; MEDLINE; NPG: Nature: OpenSearch; Oxford University Press: Oxford Index -- Oxford Journals; Psychology and Behavioral Sciences Collection; Regional Business News; SciELO: Scientific Electronic Library Online; Science Magazine (SRU); ScienceDirect; SocINDEX with Full Text; Springerlink; Web of Science; Wiley Online Library.

Las palabras claves (keywords) y sus combinaciones utilizadas para la búsqueda de la documentación han sido las siguientes: sustainability indicators, sustainability indicators HVAC, sustainability indicators in air conditioning, sustainability assessment in air conditioning, sustainable assessment HVAC, indicators HVAC, sustainability indicators construction.

Los estudios no científicos o literatura gris no fueron seleccionados en la muestra, así como tampoco las referencias cruzadas.

Se obtuvieron inicialmente un total de mil ciento sesenta y seis (1166) estudios resultantes de la búsqueda en las bases de datos.

En este nivel se observaron los títulos y resúmenes para seleccionar los trabajos con mayor pertinencia. Luego se revisó parcialmente su contenido, excluyendo aquellos que estuviesen duplicados, que no estaban dentro del área de estudio, que utilizaban erróneamente los términos, que presentaban indicios que podrían repercutir en su

calidad, que fueran extractos de libros, que estuvieran incompletos y/o que no se ajustaran a lo requerido.

Esta primera reducción nos permitió depurar la búsqueda inicial, quedando solo cuarenta y seis (46) estudios a ser considerados (Tabla N° 11).

FUENTE	PALABRAS CLAVE	DOCUMENTOS DISPONIBLES	DOCUMENTOS SELECCIONADOS
EBSCOhost	sustainability indicators	957	26
	sustainability indicators HVAC	50	4
	sustainability indicators in air conditioning	6	1
	sustainability assessment in air conditioning	22	2
	sustainable assessment HVAC	1	0
	indicators HVAC	26	4
	sustainability indicators construction	104	7

Tabla N° 11.-Resultados preliminares de la revisión sistemática en EBSCO para Enero 2015. Fuente: Elaboración Propia.

Los 44 trabajos fueron leídos en su totalidad con el fin de seleccionar solo aquellos que profundizan sus análisis en el área que nos compete. Asimismo se excluyeron los trabajos que no contribuían al tema.

Finalmente se seleccionaron 37 trabajos académicos considerados de interés para la investigación, los cuales se resumen en la Tabla N° 12.

N°	Autor (es) / Año	Título	Publicación
1	Brown, et al., 2011.	Refrigerants: Energy and environmental impacts.	HVAC & R Research. Vol. 17 Issue 2.
2	Wang, et al., 2010.	Recommended concentration limits of indoor air pollution indicators for requirement of acceptable indoor air quality.	International Journal of Energy & Environment. Issue 4.

3	Sun, C. 2010.	Delivering Sustainability Promise to HVAC Air Filtration.	ASHRAE Transactions. Vol. 116 Issue 2.
4	Persily, et al., 2012.	Indoor air quality in sustainable, energy efficient buildings.	HVAC & R Research. Vol. 18 Issue 1/2.
5	Sasnauskaitė, et al., 2007.	A sustainable analysis of a detached house heating system throughout its life cycle. A case study.	International Journal of Strategic Property Management. Vol. 11 Issue 3.
6	Hashemkhani, et al., 2013.	New Application of SWARA Method in Prioritizing Sustainability Assessment Indicators of Energy System.	Engineering Economics. Vol. 24 Issue 5.
7	Nelms, et al., 2007.	Assessing the performance of sustainable technologies: a framework and its application.	Building Research & Information. Vol. 35 Issue 3.
8	Kamami, et al., 2011.	Fuzzy based decision support method for selection of sustainable wastewater treatment technologies.	International Journal of Agricultural & Biological Engineering. Vol. 4 Issue 1.
9	Gething, et al., 2006.	Rapid assessment checklist for sustainable buildings.	Building Research & Information. Vol. 34 Issue 4.
10	Afgan, et al., 2011.	Multi-criteria sustainability assessment of water desalination and energy systems -- Kuwait case.	Desalination & Water Treatment. Vol. 25 Issue 1-3.
11	Nelms, et al., 2005.	Assessing the performance of sustainable technologies for building projects.	Canadian Journal of Civil Engineering. Vol. 32 Issue 1.
12	Hung, et al., 2010.	A New Framework Integrating Environmental Effects into Technology Evaluation.	Journal of Business Ethics. Vol. 95 Issue 4.
13	Guy, et al., 1998.	Developing indicators of sustainability: US experience.	Building Research & Information Vol. 26 Issue 1.
14	Li, et al., 2012.	A PCA-based method for construction of composite sustainability indicators.	International Journal of Life Cycle Assessment. Vol. 17 Issue 5.
15	Krank, et al., 2013.	Perceived Contribution of Indicator Systems to Sustainable Development in Developing Countries.	Sustainable Development. Vol. 21 Issue 1.
16	Said, et al., 2010.	Identifying the indicators of sustainability in the construction industry.	International Journal of Organizational Innovation. Vol. 2 Issue 3.
17	Rydin, 2007.	Indicators as a governmental technology? The lessons of community-based sustainability indicator projects.	Environment and Planning D: Society and Space. Vol. 25 Issue 4.

18	Wilson, et al., 2007.	Contrasting and comparing sustainable development indicator metrics.	Ecological Indicators. Vol. 7 Issue 2.
19	Kemmler, et al., 2007.	Energy indicators for tracking sustainability in developing countries.	Energy Policy. Apr2007, Vol. 35 Issue 4.
20	Dasgupta, et al., 2005.	Indicators and framework for assessing sustainable infrastructure.	Canadian Journal of Civil Engineering. Vol. 32 Issue 1.
21	Wells, J. 2003.	Social aspects of sustainable construction: an ILO perspective.	Industry & Environment. Apr-Vol. 26 Issue 2/3.
22	Zhang, et al., 2008.	Study on Sustainable Construction Management based on LCA.	International Conference on Construction and Real Estate Management.
23	Saparauskas, J. 2008.	The main aspects of sustainability evaluation in construction.	In the 9th International Conference. Modern Building Materials, Structures and Techniques.
24	Axelsson, et al., 2013.	Social and Cultural Sustainability: Criteria, Indicators, Verifier Variables for Measurement and Maps for Visualization to Support Planning.	AMBIO - A Journal of the Human Environment. Vol. 42 Issue 2.
25	Welfens, et al., 2010.	Global economic sustainability indicator: analysis and policy options for the Copenhagen process.	International Economics & Economic Policy. Vol. 7 Issue 2/3.
26	Shen, et al., 2011.	Key Assessment Indicators for the Sustainability of Infrastructure Projects.	Journal of Construction Engineering & Management. Vol. 137 Issue 6.
27	Borges, F. 2012.	Administração pública do setor elétrico: indicadores de sustentabilidade no ambiente residencial do estado do Pará.	RAP: Revista Brasileira de Administração Pública. Vol. 46 Issue 3.
28	Rodríguez, et al., 2012.	Environmental Impact of the Construction and Use of a House: Assessment of Building Materials and Electricity End-Uses in a Residential Area of the Province of Norte de Santander, Colombia.	Ingeniería y Universidad. Vol. 16 Issue 1.
29	Jain, R. 2005.	Sustainability: metrics, specific indicators and preference index.	Clean Technologies & Environmental Policy. Vol. 7 Issue 2.
30	Flores, et al., 2013.	Análisis de indicadores para determinar el grado de sostenibilidad en concretos especiales.	Tecnura. Vol. 17 Issue 38.
31	Turcu, C. 2013.	Re-thinking sustainability indicators: local perspectives of urban sustainability.	Journal of Environmental Planning & Management. Vol. 56 Issue 5.
32	Liu, et al., 2013.	General sustainability indicator of renewable energy system based on grey relational analysis.	International Journal of Energy Research. Vol. 37 Issue 14.

33	Dale, et al., 2013.	Environmental and Socioeconomic Indicators for Bioenergy Sustainability as Applied to Eucalyptus.	International Journal of Forestry Research Vol. 1 Issue 10.
34	Habibi, et al., 2014.	Defining sustainability indicators in urban neighborhoods casa study: Narmak neighborhood of Tehran.	International Journal of Academic Research. Vol. 6 Issue 4.
35	Chamchine, et al., 2006.	Thermodynamic indicators for integrated assessment of sustainable energy technologies	International Journal of Low Carbon Technologies. Vol. 1 Issue 1.
36	Zavrl, et al., 2009.	Multicriterial sustainability assessment of residential buildings.	Technological & Economic Development of Economy. Vol. 15 Issue 4.
37	Ugwu, et al., 2006.	Sustainability appraisal in infrastructure projects (SUSAIP) Part 1. Development of indicators and computational methods	Automation in Construction. Vol. 15 Issue 2

Tabla N° 12.- Trabajos científicos seleccionados. Fuente: Elaboración Propia.

De este modo, se han identificado los aspectos e indicadores más importantes según el consenso científico al que se ha llegado de acuerdo a la bibliografía seleccionada. Con esta técnica se está evaluando la experiencia científica alcanzada en el campo de los indicadores de sostenibilidad en el campo de la climatización y la construcción sostenible principalmente.

Tras la selección de la documentación científica mostrada en la tabla N° 12 y la revisión exhaustiva de la misma se lograron identificar algunos indicadores, criterios y factores que se consideraron fundamentales para la evaluación de la sostenibilidad de la climatización de las edificaciones, obteniendo una primera lista de indicadores mostrados en la tabla N° 13.

Código	Indicador
I-1.1	Uso de combustibles fósiles (Hashemkhani, et al., 2013).
I-1.2	Consumo de recursos (Hashemkhani, et al., 2013); (Guy, et al.1998); (Li, et al. 2012); (Shen, et al., 2011); (Rodríguez, et al., 2012.).
I-1.3	Uso de acero inoxidable (Hashemkhani, et al., 2013).
I-1.4	Uso de Cobre (Hashemkhani, et al., 2013).
I-1.5	Uso de aluminio (Hashemkhani, et al., 2013).
I-1.6	Uso de PVC (Hashemkhani, et al., 2013).

I-1.7	Emisiones de CO2 (Hashemkhani, et al., 2013); (Welfens, et al. 2010); (Shen, et al., 2011); (Borges, F. 2012); (Jain, R. 2005); (Flores, et al., 2013); (Liu, et al., 2013); (Dale, et al., 2013); (Zavrl, et al., 2009).
I-1.8	Emisiones de SO2 (Hashemkhani, et al., 2013); (Li, et al. 2012); (Shen, et al., 2011); (Jain, R. 2005); (Liu, et al., 2013)
I-1.9	Emisiones NOx (Hashemkhani, et al., 2013); (Li, et al. 2012); (Jain, R. 2005); (Liu, et al., 2013).
I-1.10	Costo de la energía (Hashemkhani, et al., 2013); (Liu, et al., 2013).
I-1.11	Costo de inversión o inicial (Hashemkhani, et al., 2013); (Persily et al., 2012); (Shen, et al., 2011); (Flores, et al., 2013); (Turcu, C. 2013); (Ugwu et al., 2005).
I-1.12	Eficiencia energética (Hashemkhani, et al., 2013); (Persily et al., 2012); (Li, et al. 2012); (Shen, et al., 2011); (Borges, F. 2012); (Zavrl, et al., 2009).
I-1.13	Generación de empleo (Hashemkhani, et al., 2013); (Turcu, C. 2013); (Zavrl, et al., 2009); (Ugwu et al., 2005).
I-1.14	Mano de obra especializada (Hashemkhani, et al., 2013).
I-1.15	Costo de mano de obra (Šaparauskas, J. 2007).
I-1.16	Consumo de energía (Šaparauskas, J. 2007); (Li, et al. 2012); (Welfens, et al. 2010); (Shen, et al., 2011); (Borges, F. 2012); (Rodríguez, et al., 2012.); (Turcu, C. 2013).
I-1.17	Uso de refrigerantes Clorofluorocarburos (Brown, J. 2011).
I-1.18	Uso de refrigerantes naturales (Brown, J. 2011).
I-1.19	Ciclo de vida (Sun, C. 2010).
I-1.20	Costos de Mantenimiento (Sun, C. 2010); (Persily et al., 2012); (Shen, et al., 2011); (Zavrl, et al., 2009).
I-1.21	Renovación de aire (Persily et al., 2012); (Ugwu et al., 2005).
I-1.22	Calidad del aire interior (Persily et al., 2012); (Wang, et al., 2010); (Guy, et al.1998); (Shen, et al., 2011); (Jain, R. 2005); (Turcu, C. 2013).
I-1.23	Control por parte de los ocupantes (Persily et al., 2012); (Krank, et al.2013).
I-1.24	Costos de Instalación (Persily et al., 2012); (Flores, et al., 2013).
I-1.25	Confort térmico (Persily et al., 2012); (Li, et al. 2012); (Zavrl, et al., 2009).
I-1.26	Emisiones asociada a los materiales (Persily et al., 2012).
I-1.27	Emisiones de Radon (Persily et al., 2012).
I-1.28	Costos de Construcción (Persily et al., 2012).
I-1.29	Uso de materiales contaminantes del aire (Wang, et al., 2010)
I-1.30	Alteración de ecosistemas (Guy, et al.1998); (Jain, R. 2005)
I-1.31	Contaminación del agua (Guy, et al.1998); (Dale, et al., 2013); (Chamchine, et al., 2006); (Ugwu et al., 2005)
I-1.32	Generación de residuos (Guy, et al.1998); (Li, et al. 2012); (Habibi, et al., 2014).
I-1.33	Perdida de escenario histórico o cultural (Guy, et al.1998); (Ugwu et al., 2005).

I-1.34	Costo del transporte (Guy, et al.1998); (Shen, et al., 2011).
I-1.35	Uso de energía renovable (Li, et al. 2012); (Welfens, et al. 2010); (Borges, F. 2012).
I-1.36	Consumo de agua (Li, et al. 2012); (Shen, et al., 2011); (Rodríguez, et al., 2012.); (Turcu, C. 2013); (Dale, et al., 2013); (Ugwu et al., 2005).
I-1.37	Emisiones de gases de efecto invernadero (Li, et al. 2012).
I-1.38	Generación de residuos peligrosos (Li, et al. 2012).
I-1.39	Accesibilidad (Li, et al. 2012).
I-1.40	Participación de la comunidad (Axelsson, et al. 2013).
I-1.41	Costo de operación (Shen, et al., 2011).
I-1.42	Contaminación sónica (Shen, et al., 2011); (Habibi, et al., 2014); (Zavrl, et al., 2009); (Ugwu et al., 2005)
I-1.43	Seguridad (Shen, et al., 2011); (Habibi, et al., 2014); (Wells, 2003); (Ugwu et al., 2005).
I-1.44	Aceptación por parte de usuarios (Shen, et al., 2011); (Turcu, C. 2013); (Habibi, et al., 2014).
I-1.45	Durabilidad (Flores, et al., 2013); (Habibi, et al., 2014).
I-1.46	Reciclado o gestión de residuos (Ugwu et al., 2005).
I-1.47	Contaminación del aire (Habibi, et al., 2014); (Chamchine, et al., 2006); (Ugwu et al., 2005).
I-1.48	Contaminación visual (Habibi, et al., 2014); (Zavrl, et al., 2009); (Ugwu et al., 2005).
I-1.49	Adaptabilidad (Habibi, et al., 2014).
I-1.50	Disponibilidad de material _(Ugwu et al., 2005).
I-1.51	Reutilización (Ugwu et al., 2005).

Tabla N° 13.- Lista 1 de indicadores según la revisión bibliográfica. Fuente: Elaboración Propia.

Asimismo, las dimensiones que han sido identificadas en la bibliografía revisada y que pueden ser aplicadas son las que se presentan en Tabla N° 14.

Código	Dimensión
D-1.1	Energía
D-1.2	Residuos
D-1.3	Recursos materiales
D-1.4	Economía
D-1.5	Social - cultural
D-1.6	Seguridad y salud
D-1.7	Costos
D-1.8	Integración social
D-1.9	Biodiversidad

Tabla N° 14.- Lista 1. Dimensiones de sostenibilidad según revisión bibliográfica. Fuente: Elaboración Propia.

4.4.1.2.- Legislación

En cuanto a la legislación en materia de sostenibilidad, en Venezuela no existen normativas a nivel de estado que estimulen el logro de dicho fin en el sector construcción y de las edificaciones. Sin embargo, respecto al tema de climatización de edificaciones, eficiencia energética y construcción, se pueden rescatar algunas normativas y leyes vigentes que pudiesen contribuir a identificar algunos indicadores de sostenibilidad pertinentes para la investigación (Figura N° 15).

Norma	Título	Año de Publicación
COVENIN 3193	Refrigeradores, Refrigeradores-Congeladores y Congeladores. Métodos de Ensayo de Consumo de Energía y Medidas de Capacidad.	1999
COVENIN 3235	Refrigeradores, Refrigeradores- Congeladores y Congeladores. Etiquetado y Reporte de Consumo de Energía.	1999
COVENIN 3537	Acondicionadores de Aire Tipo Ventana. Métodos de Ensayo.	1999
COVENIN 3538	Acondicionadores de Aire. Método de Ensayo de Capacidad de Enfriamiento, consumo de energía y eficiencia energética.	1999
COVENIN 3560	Acondicionadores de Aire Tipo Ventana. Etiquetado y Reporte de Eficiencia Energética.	2000
COVENIN 1299	Acondiciones de aire tipo ventana.	2000
ENELVEN	Ordenanza sobre Calidad Térmica de Edificaciones en el Municipio Maracaibo.	2005
Gaceta oficial N° 39.823-2011	Ley de uso eficiente y racional de la energía.	2011
Gaceta oficial N° 4044-1988	Norma sanitaria.	1988

Tabla N° 15.- Normas y leyes nacionales consideradas para la revisión. Fuente: Elaboración propia.

Igualmente, se incorporan a la revisión algunas de las normativas internacionales que fueron tomadas inicialmente como referencia para el planteamiento de la investigación (Tabla N° 16).

Norma	Título	Año de Publicación
ISO 15392:2008	Sustainability in building construction - General principles.	05-2008
ISO 21931-1:2010	Sustainability in building construction -- Framework for methods of assessment of the environmental performance of construction works -- Part 1: Buildings.	06-2010
CEN EN 15643-1	Sustainability of construction works - Integrated assessment of building performance - Part 1: General framework.	10-2010

Tabla N° 16.- Normas ISO y CEN consideradas para la revisión. Fuente: Elaboración propia.

De este modo, la revisión de la legislación seleccionada y su posterior análisis, ha arrojado la siguiente lista de indicadores (Tabla N° 17):

Código	Indicador
I-2.1	Impactos en la salud (CEN EN 15643-1).
I-2.2	Costos asociados al ciclo de vida (CEN EN 15643-1); (ISO 15392:2008).
I-2.3	Bienestar y confort (CEN EN 15643-1).
I-2.4	Funcionalidad (CEN EN 15643-1).
I-2.5	Evaluación de impacto ambiental (CEN EN 15643-1); (ISO 15392:2008)
I-2.6	Consumo energético (ENELVEN, 2005); (ISO 21931-1:2010); (COVENIN 3235); (COVENIN 3193).
I-2.7	Calidad térmica (ENELVEN, 2005).
I-2.8	Eficiencia energética (Ley 39.823-2011); (COVENIN 3560); (COVENIN 3538); (COVENIN 3537); (COVENIN 1299).
I-2.9	Ahorro energético (Ley 39.823-2011).
I-2.10	Uso de energía renovable (Ley 39.823-2011).
I-2.11	Vida útil - durabilidad (ISO 21931-1:2010); (ISO 15392:2008).
I-2.12	Mantenimiento (ISO 21931-1:2010).
I-2.13	Deconstrucción - reciclado (ISO 21931-1:2010).
I-2.14	Consumo de agua (ISO 21931-1:2010).
I-2.15	Cambios de infraestructura (ISO 21931-1:2010).
I-2.16	Transporte (ISO 21931-1:2010).
I-2.17	Control de los usuarios (ISO 21931-1:2010).
I-2.18	Adaptación a cambios de uso del edificio (ISO 21931-1:2010).
I-2.19	Emisiones contaminantes (ISO 21931-1:2010).
I-2.20	Consumo de recurso no renovables (ISO 21931-1:2010); (ISO 15392:2008).
I-2.21	Contribución al cambio climático (ISO 21931-1:2010).
I-2.22	Uso de sustancias clasificadas como peligrosas o tóxicas (ISO 21931-1:2010).
I-2.23	Generación de residuos (ISO 21931-1:2010).
I-2.24	Contribución al calentamiento de las ciudades (Islas térmicas) (ISO 21931-1:2010). (COVENIN 1299)
I-2.25	Accesibilidad (ISO 21931-1:2010).
I-2.26	Seguridad y riesgos (ISO 21931-1:2010); (ISO 15392:2008).
I-2.27	Calidad del aire interior (ISO 21931-1:2010).
I-2.28	Calidad de ventilación (ISO 21931-1:2010); (COVENIN 1299).
I-2.29	Ruido y acústica (ISO 21931-1:2010).
I-2.30	Concentración de radón (ISO 21931-1:2010).
I-2.31	Sustancias peligrosas (ISO 21931-1:2010).

I-2.32	Cumplimiento de normas locales (ISO 21931-1:2010).
I-2.33	Impactos culturales (ISO 15392:2008).
I-2.34	Capacidad de enfriamiento (COVENIN 3560); (COVENIN 3538); (COVENIN 3537); (COVENIN 1299).
I-2.35	Renovación del aire interior (COVENIN 1299).
I-2.36	Deshumificación del aire (COVENIN 1299).
I-2.37	Uso de refrigerantes Clorofluorocarburos (COVENIN 1299).

Tabla N° 17.- Lista 2 de indicadores según la revisión de la legislación tomada como referencia. Fuente: Elaboración Propia.

Asimismo, las dimensiones en donde la legislación consultada da mayor importancia son, fundamentalmente (Tabla N° 18):

Código	Dimensión
D-2.1	Energía
D-2.2	Recursos materiales
D-2.3	Suelo
D-2.4	Economía
D-2.5	Seguridad y salud
D-2.6	Residuos
D-2.7	Burocracia

Tabla N° 18.- Lista 2. Dimensiones de sostenibilidad según la legislación revisada. Fuente: Elaboración Propia.

4.4.2.- Técnica 2: Recopilación de información.

Para la aplicación de esta técnica se recurre al uso de encuestas y tormenta de ideas o Brainstorming, con el fin de recoger los puntos de vista de los actores que se consideren clave en el campo de la sostenibilidad y la climatización de edificaciones.

4.4.2.1.- Encuestas.

La encuesta busca recabar información por parte de expertos e involucrados en el campo de la climatización de edificaciones y la sostenibilidad con un perfil definido. La utilización de ésta como técnica para la identificación de indicadores, responde a la necesidad de obtener los distintos puntos de vista del mayor número de actores

posibles, mientras se evita que exista algún tipo de influencia en los resultados a causa de la interacción entre los participantes y/o la participación no calificada. Ésta técnica permitió también utilizar medios a distancia como el e-mail y páginas web, logrando un mayor alcance en la consulta.

Es importante resaltar que la encuesta se utilizó como técnica o procedimiento de recopilación de datos, siendo ésta solo un instrumento dentro de toda la metodología planteada y no un método en sí mismo, por lo que sus resultados no son de carácter estadístico. Para el diseño de la encuesta se han seguido las etapas representadas en la Figura N° 32, con base en la metodología propuesta para el diseño y elaboración de encuestas (Alaminos, et al. 2006) y (Lapietra, 2006).

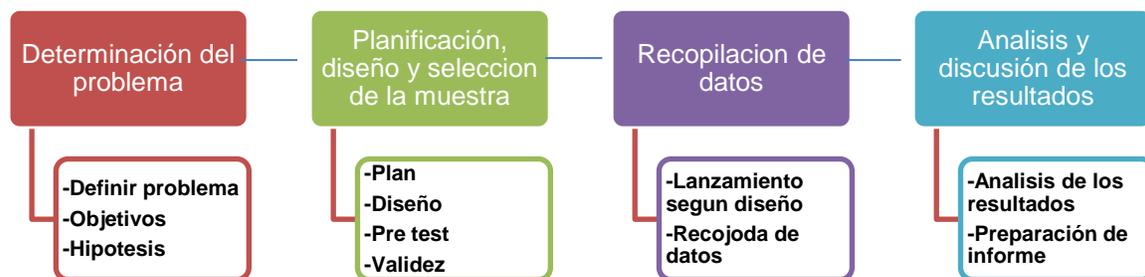


Figura N° 32.- Etapas para el diseño y elaboración de encuestas. Fuente: Elaboración propia con base en (Alaminos, et al. 2006) y (Lapietra, 2006).

En la primera etapa de definición del problema se marca como objetivo fundamental la identificación de factores e indicadores de sostenibilidad por parte de todos los involucrados en el campo de la climatización de edificaciones, cumpliendo con la exigencia planteada en ISO-21929-1. Por tanto, es una encuesta fundamentada en las propuestas realizadas por el encuestado y no una valoración de indicadores propuestos por el investigador. Al no ser empleada la encuesta como estrategia única para la obtención de datos dentro de la metodología propuesta, la misma no necesariamente debe ser profunda y/o exhaustiva, como si debe serlo cuando se utiliza como único método de investigación (PMI, 2004).

Con base en los lineamiento de Alaminos et al. (2006), en una segunda etapa se procedió a la elaboración de la encuesta (Anexo N° 1). Para la redacción de las preguntas se tuvo como premisa que fuesen claras, simples, concisas y que

desarrollaran un único tema a la vez. Asimismo, por tratarse de una encuesta que no pretende el análisis, sino la identificación de indicadores, se consideró pertinente trabajar con preguntas abiertas que estuviesen redactadas de forma que permitieran la comparación simple entre respuestas.

La selección de la muestra es uno de los elementos fundamentales. En un muestreo probabilístico *“todos los casos tienen la misma probabilidad de ser elegidos para formar parte de la muestra”* (Alaminos et al. 2006). Sin embargo, en nuestro caso este principio no se aplica debido a que no buscamos obtener una opinión general, por lo que limitamos la muestra solo a los actores involucrados en el campo de la climatización de edificaciones específicamente, Entendiéndose esto entonces como un muestreo no probabilístico para la obtención de información.

Una vez definida la muestra no probabilística se procede a identificar los involucrados. La hipótesis para seleccionarlos es que cada actor deberá representar un punto de vista diferente de la sostenibilidad. En este sentido, y de manera esquemática, se determinó un grupo de actores representativos (Figura N° 33).



Figura N° 33.- Esquema ciclo de vida tecnologías de climatización y actores involucrados a nivel general de proyectos. Fuente: Elaboración propia.

El esclarecimiento de los actores permitió, en una tercera etapa, el envío de 250 encuestas, obteniendo un total de 53 respuestas caracterizadas por la

heterogeneidad de profesiones y ocupaciones, acorde con la muestra seleccionada (Figura N° 34 y 35). Lo cual según Lapietra (2006) se ajusta a lo esperado y requerido para la identificación adecuada de oportunidades.

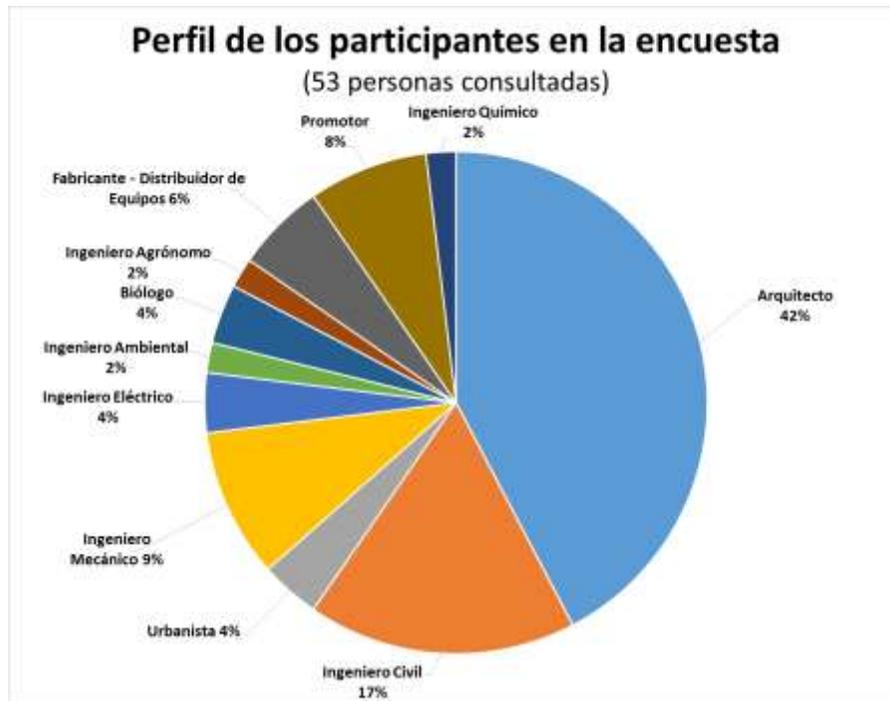


Figura N° 34.- Perfil de los participantes encuestados. Fuente: Elaboración propia.

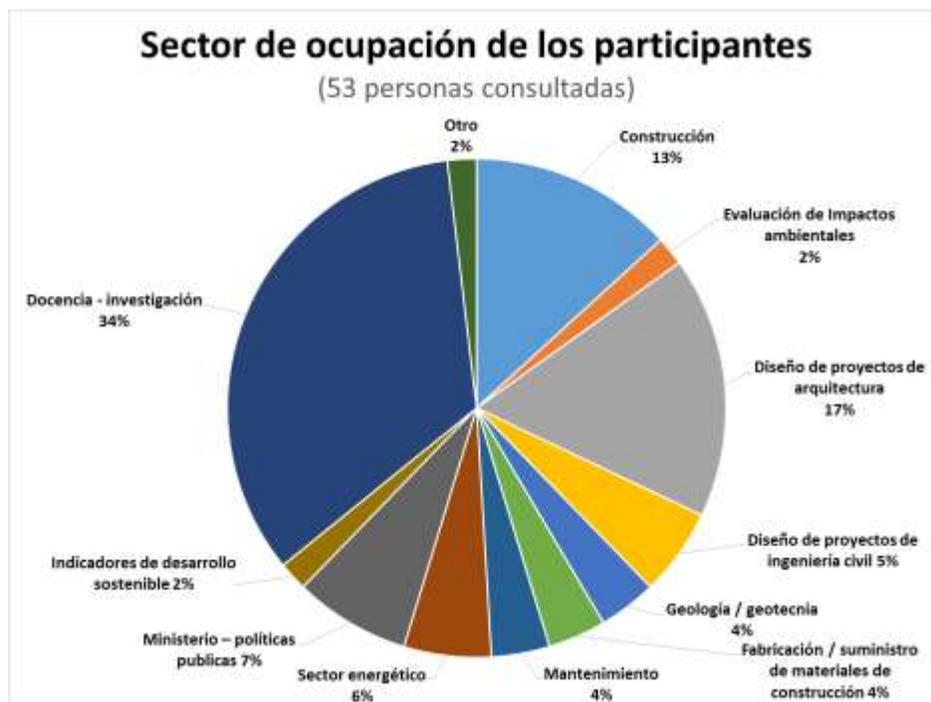


Figura N° 35.- Sector de ocupación de los participantes encuestados. Fuente: Elaboración propia.

Como no se planteó la necesidad de un análisis estadístico de las respuestas, pues únicamente se buscaba la identificación de indicadores, se finalizó el proceso de encuestas, una vez que la información comenzó a ser redundante. Al mismo tiempo, la redundancia en los datos se puede interpretar como un mecanismo de validez de la información obtenida (Alaminos et al. 2006).

Finalmente se recopilaron los datos de las encuestas, lo que permitió la generación de una lista con todos los indicadores propuestos sin importar cuantas veces fueron mencionados, siendo la frecuencia el criterio para la organización de los resultados a manera de ejemplo (Tabla N° 19).

Código	Indicador
I-3.1	Consumo de energía (36 participantes)
I-3.2	Calidad del aire (27 participantes)
I-3.3	Mantenimiento simple y accesible – disponibilidad de repuestos (25 participantes)
I-3.4	Ventilación y/o renovación de aire natural (23 participantes)
I-3.5	Emisiones contaminantes a la atmosfera (19 participantes)
I-3.6	Impacto visual - paisaje y/o edificación (19 participantes)
I-3.7	Efectos negativos en la salud de los usuarios (17 participantes)
I-3.8	Seguridad en instalación y funcionamiento (15 participantes)
I-3.9	Disposición final – reciclado – deconstrucción (14 participantes)
I-3.10	Control de la temperatura – confort térmico (14 participantes)
I-3.11	Costo del sistema (13 participantes)
I-3.12	Contaminación del agua (13 participantes)
I-3.13	Aceptación por parte del usuario (12 participantes)
I-3.14	Durabilidad del sistema (12 participantes)
I-3.15	Costos por mantenimiento (11 participantes)
I-3.16	Impacto ambiental del sistema (11 participantes)
I-3.17	Vulnerabilidad general (11 participantes)
I-3.18	Uso de energías renovables (11 participantes)
I-3.19	Contaminación acústica dentro y fuera de la edificación (10 participantes)
I-3.20	Eficiencia Energética (10 participantes)
I-3.21	Formación y adiestramiento (10 participantes)
I-3.22	Emisiones de CO2 (10 participantes)
I-3.23	Impactos ambientales de los materiales utilizados (9 participantes)
I-3.24	Uso de materiales certificados (9 participantes)

I-3.25	Uso de sustancias o materiales peligrosos (9 participantes)
I-3.26	Generación de empleo (8 participantes)
I-3.27	Funcionamiento sencillo para el usuario común (6 participantes)
I-3.28	Flexibilidad – adaptación (6 participantes)
I-3.29	Consumo de agua (6 participantes)
I-3.30	Impacto en la vegetación (5 participantes)
I-3.31	Accesibilidad a la tecnología – disponibilidad (5 participantes)
I-3.32	Uso de materiales de producción local (5 participantes)
I-3.33	Consumo materiales (5 participantes)
I-3.34	Espacio requerido para su funcionamiento (5 participantes)
I-3.35	Autoconstrucción (5 participantes)
I-3.36	Participación de la ciudadanía (5 participantes)
I-3.37	Reutilización de materiales – reciclaje (5 participantes)
I-3.38	Nuevas técnicas y tecnologías - Innovación (4 participantes)
I-3.39	Impacto en la biodiversidad (3 participantes)
I-3.40	Simplicidad en la construcción y/o instalación (3 participantes)
I-3.41	Potencia de climatización (3 participantes)
I-3.42	Emisión de calor al ambiente (3 participantes)
I-3.43	Integración urbana (3 participantes)
I-3.44	Respeto al patrimonio histórico y cultural (3 participantes)
I-3.45	Tiempo de retorno de la inversión (2 participantes)
I-3.46	Generación de energía (2 participantes)
I-3.47	Uso de mano de obra local (2 participantes)
I-3.48	Costo de transporte (2 participantes)
I-3.49	Costos por demolición y disposición (2 participantes)
I-3.50	Ciclo de vida (2 participantes)
I-3.51	Superficie requerida para su funcionamiento (2 participantes)
I-3.52	Impacto y/o afectación a las comunidades (2 participantes)
I-3.53	Reutilización del Agua (2 participantes)
I-3.54	Biodegradabilidad de los componentes del sistema (1 participante)
I-3.55	Revalorización – plusvalía (1 participante)
I-3.56	Huella Ecológica (1 participante)
I-3.57	Emanación de olores (1 participante)
I-3.58	Financiamiento (1 participante)
I-3.59	Garantías del producto e instalación (1 participante)
I-3.60	Logro de la felicidad (1 participante)

Tabla N° 19.- Lista 3 de indicadores según encuestas. Fuente: Elaboración Propia.

Asimismo, la propuesta de dimensiones de sostenibilidad indicadas por los encuestados fueron las siguientes (Tabla N° 20):

Código	Dimensión
D-3.1	Energía
D-3.2	Atmosfera
D-3.3	Economía
D-3.4	Paisaje
D-3.5	Legislación
D-3.6	Seguridad
D-3.7	Utilidad publica
D-3.8	Bienestar y confort
D-3.9	Requisitos técnicos
D-3.10	Social - cultural
D-3.11	Vulnerabilidad

Tabla N° 20.- Lista 3. Dimensiones de sostenibilidad según encuestas. Fuente: Elaboración Propia.

4.4.2.2.- Tormenta de ideas o *Brainstorming*.

El desarrollo de una tormenta de ideas o brainstorming responde a la necesidad de obtener una nueva lista de posibles indicadores de sostenibilidad en el campo de los proyectos de climatización de edificaciones, a través de la participación de grupos de expertos afines al área de interés, los cuales interactúan entre sí en presencia de un moderador que se encarga de guiar los participantes.

A pesar de su uso extendido, esta técnica pudiese ser más cómoda para los participantes extrovertidos, por lo que la figura del moderador adquiere especial importancia (APM, 2004). Esta debilidad se espera superar mediante la encuesta, donde las respuestas de los expertos fueron anónimas y no presenciales.

La actividad contó con la participación de 9 expertos (Figura N° 36), distribuidos en seis sectores de ocupación (Figura N° 37). Los participantes fueron informados sobre los objetivos del proyecto de investigación y el contexto en donde se enmarca, para luego dar inicio a la actividad, guiados por el moderador.

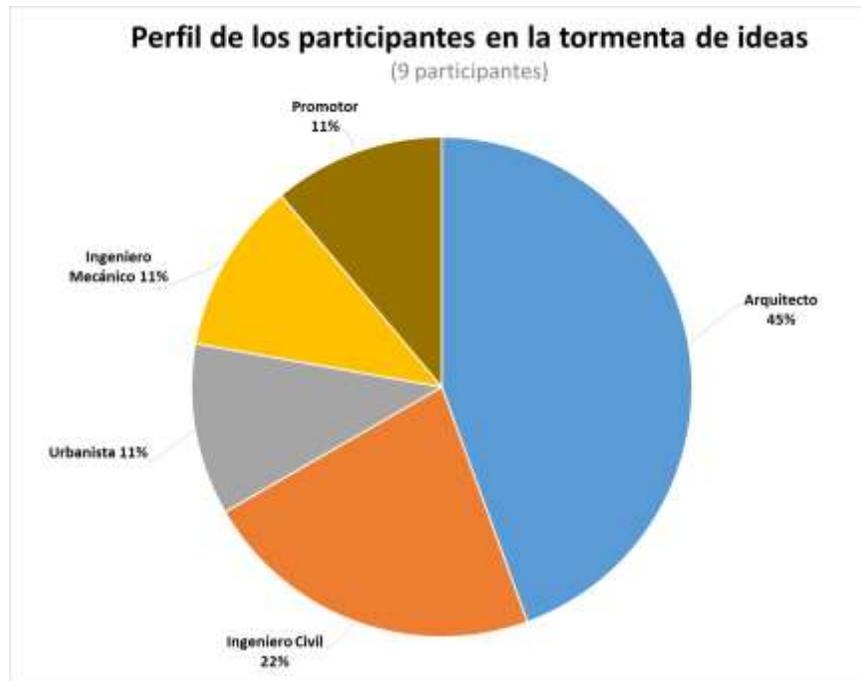


Figura N° 36.- Perfil de los participantes en la tormenta de ideas. Fuente: Elaboración propia.

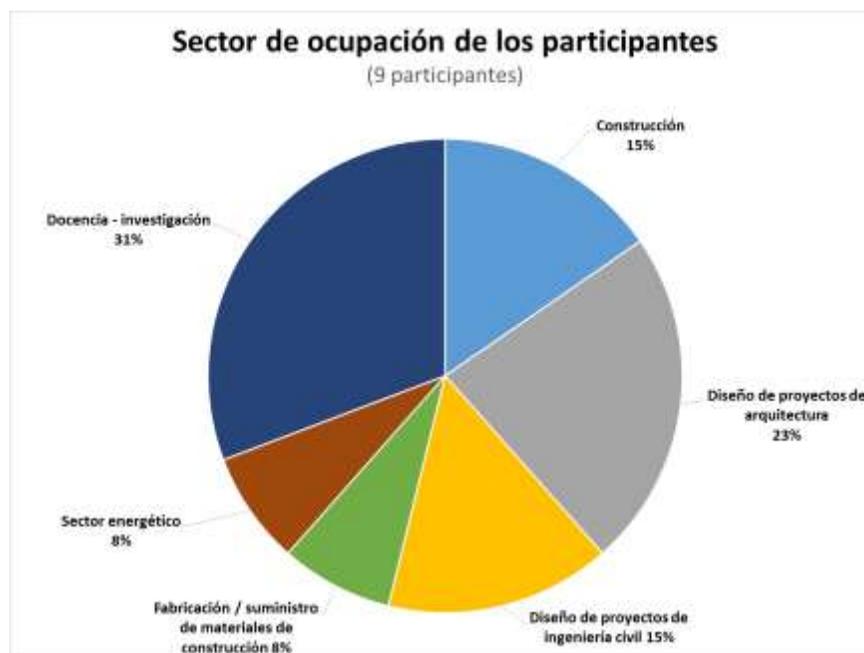


Figura N° 37.- Sector de ocupación de los participantes en la tormenta de ideas. Fuente: Elaboración propia.

Como estructura organizadora se planteó la discusión de acuerdo al ciclo de vida de los sistemas de climatización a un nivel general, con el fin de facilitar la identificación de los indicadores clave (Figura N° 38).

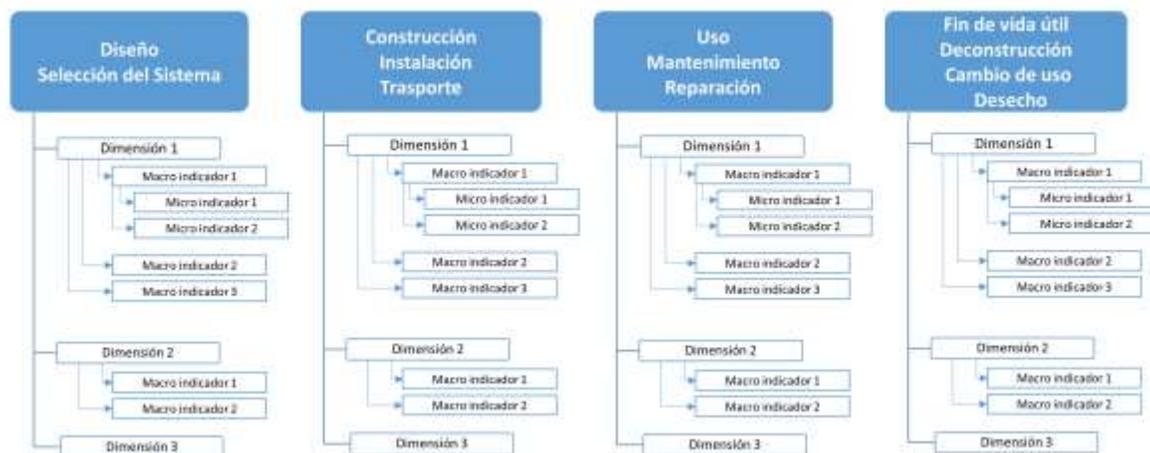


Figura N° 38.- Estructura propuesta para la lluvia de ideas. Fuente: Elaboración propia.

En una primera fase se crearon dos grupos de participantes multidisciplinarios y se les pidió plasmar posibles indicadores y dimensiones de la sostenibilidad para el campo propuesto. Una vez obtenidas todas las ideas, se juntaron los grupos y se estudiaron cada una de las propuestas realizadas con miras en la obtención de conclusiones generales (sin llegar al análisis), hasta que finalmente se obtuvo un consenso con las variables consideradas fundamentales en la evaluación de la sostenibilidad en el campo de la climatización de edificaciones, lo que permitió la generación de la siguiente lista de indicadores (Cuadro N° 21), y dimensiones (Cuadro N° 22).

Código	Indicador
I-4.1	Consumo de energía renovable y no renovable
I-4.2	Calidad del aire
I-4.3	Confort térmico
I-4.4	Confort acústico
I-4.5	Emisiones de CO2
I-4.6	Capacidad de enfriamiento
I-4.7	Accesibilidad económica
I-4.8	Aceptación del usuario
I-4.9	Impacto del ciclo de vida
I-4.10	Durabilidad
I-4.11	Disposición al culminar vida útil

I-4.12	Seguridad
I-4.13	Uso de materiales y sustancias peligrosas
I-4.14	Disipación de calor al entorno
I-4.15	Autoconstrucción
I-4.16	Tipo de combustible a utilizar
I-4.17	Impacto visual
I-4.18	Consumo global de materias primas
I-4.19	Costo de la tecnología
I-4.20	Ética en el proyecto de climatización
I-4.21	Adaptabilidad – flexibilidad

Tabla N° 21.- Lista 4 de indicadores según tormenta de ideas. Fuente: Elaboración Propia.

Código	Dimensión
D-4.1	Ambiental
D-4.2	Económica
D-4.3	Social
D-4.4	Ética
D-4.5	Participación

Tabla N° 22.- Lista 4. Dimensiones de sostenibilidad según tormenta de ideas. Fuente: Elaboración Propia.

4.4.3.- Técnica 3: Análisis de tecnologías de climatización.

Con el planteamiento de esta técnica se pretende la obtención de indicadores clave, mediante la creación de listas de control fundamentadas en el análisis de cada una de las tecnologías de climatización representativas en el contexto venezolano.

En este sentido, para la selección de las tecnologías no tradicionales de climatización a analizar, denominadas como pasivas y cuasi pasivas, se recurrió a toda la documentación científica acumulada durante los últimos años por los investigadores del área de requerimientos de habitabilidad de las edificaciones, del Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción (IDEC) de la Universidad Central de Venezuela. Incorporando igualmente, investigación de interés desarrolladas en otras universidades del país, para finalmente seleccionar las de mayor relevancia para el análisis:

- 1) Sistema de climatización por conductos enterrados. (Lorenzo, 2007), (Lorenzo, et al, 2008). (Ferraro, et al, 2014).
- 2) Sistemas de climatización por aumento de masa térmica en techos. Con tierra y/o Agua. (González, 1997), (González, 2011), (Piñate, et al, 2013), (Piñate, 2016).
- 3) Sistema de climatización por superficies radiantes. (Ruiz, 2014).
- 4) Sistema de climatización evaporativo por superficies vegetales interiores. (Papadia, 2016).

Asimismo, para la selección de las tecnologías de climatización activas más representativas en Venezuela, se recurre al inventario realizado por la Unidad de Eficiencia Energética y Energías Renovables de CORPOELEC, donde se identifican las siguientes (Díaz, et al. 2011):

- 1) Sistema acondicionador de aire de ventana.
- 2) Sistema acondicionador de aire Split.
- 3) Sistema acondicionador de aire rooftop.
- 4) Sistema acondicionador de aire compacto o “monoblock”.

Una vez seleccionadas las tecnologías se estudiaron individualmente (Anexo N° 2), identificando los posibles indicadores claves mediante el análisis por lista de control. Generando finalmente una quinta lista de posibles indicadores (Tabla N° 23).

Código	Indicador
I-5.1	Consumo de energía
I-5.2	Confort térmico
I-5.3	Confort acústico
I-5.4	Calidad del aire

I-5.5	Renovación de aire
I-5.6	Costo de mantenimiento
I-5.7	Costo de inversión
I-5.8	Durabilidad
I-5.9	Consumo de materiales
I-5.10	Uso de materiales contaminantes
I-5.11	Uso de sustancias peligrosas y/o contaminantes
I-5.12	Cumplimiento de normativas locales
I-5.13	Disponibilidad al público
I-5.14	Autoconstrucción
I-5.15	Generación de empleo local
I-5.16	Participación de la sociedad
I-5.17	Aceptación
I-5.18	Funcionamiento no especializado
I-5.19	Impacto visual
I-5.20	Impacto en el terreno
I-5.21	Potencia de enfriamiento
I-5.22	Flexibilidad - adaptación
I-5.23	Nivel de humedad en aire perjudiciales
I-5.24	Contaminación del agua
I-5.25	Contaminación del suelo
I-5.26	Emisiones de CO ₂
I-5.27	Otras emisiones de gases de efecto invernadero
I-5.28	Aumento de requerimiento estructural en edificaciones
I-5.29	Emisiones de calor al ambiente
I-5.30	Impactos en ciclo de vida

Tabla N° 23.- Lista 5 de indicadores según análisis de tecnologías de climatización. Fuente: Elaboración Propia.

Asimismo, las posibles dimensiones de sostenibilidad identificadas fueron las siguientes (Tabla N° 24):

Código	Dimensión
D-5.1	Económica
D-5.2	Ambiental
D-5.3	Social
D-5.4	Accesibilidad
D-5.5	legislativa
D-5.6	Estética

Tabla N° 24.- Lista 5. Dimensiones de sostenibilidad según análisis de tecnologías de climatización. Fuente: Elaboración Propia.

4.4.4.- Técnica 4: Estudio de otras áreas y herramientas.

Con esta técnica, lo que se busca es incorporar el conocimiento generado en otros ámbitos donde se utilicen diferentes criterios o indicadores en el área de la sostenibilidad. De este modo se procedió al análisis general de los indicadores que utilizan usualmente en cada uno de los campos consultados, con el fin de seleccionar solo aquellos que pudiesen ser pertinentes en el campo de la climatización de edificaciones.

4.4.3.1.- En el campo de las edificaciones.

Estudios realizados previos a este trabajo (Fernández, 2008); (IHOBE, 2010), así como otros comentados ya en el capítulo 1 y 2, han contabilizado la existencia de más de 70 sistemas de indicadores existentes para la evaluación y certificación de la sostenibilidad de edificaciones a nivel mundial. Al analizar aquellos más relevantes como: LEED, BREEAM, CASBEE, GBTool-SBTool y LEnSE, se extrajeron aquellos indicadores que pudiesen ser de aplicación al campo de la climatización de edificaciones (Tabla N° 25).

Código	Indicador
I-6.1	Prevención de la contaminación (LEED v.2.0)
I-6.2	Olores (CASBEE)
I-6.3	Calidad en el diseño / integración en el paisaje (LEnSE)
I-6.4	Ahorro de agua (LEED v.2.0); (CASBEE); (BREEAM Ecohomes); (SBTool_07)
I-6.5	Energías renovables (LEED v.2.0); (CASBEE); (SBTool_07)

I-6.6	Consumo energético (LEED v.2.0; CASBEE; BREEAM Ecohomes; SBTool_07).
I-6.7	Equipamientos con certificados ecológicos (BREEAM Ecohomes)
I-6.8	Empleo local de trabajadores durante la construcción, la explotación y el mantenimiento (LEnSE)
I-6.9	Energía incorporada de los materiales (BREEAM Ecohomes; SBTool_07)
I-6.10	Reutilización de componentes y materiales (LEED v.2.0); (CASBEE); (SBTool_07)
I-6.11	Gestión de residuos (LEED v.2.0)
I-6.12	Materiales regionales (LEED v.2.0); (LEnSE)
I-6.13	Materiales rápidamente renovables (LEED v.2.0)
I-6.14	Materiales reciclados (CASBEE); (SBTool_07)
I-6.15	Materiales con bajo riesgo para la salud (CASBEE)
I-6.16	Calidad del aire (LEED v.2.0); (CASBEE)
I-6.17	Ruido // Contaminación acústica (CASBEE)
I-6.18	Emisiones contaminantes (CASBEE); (SBTool_07); (BREEAM Ecohomes)
I-6.19	Costos en el Ciclo de Vida (LEnSE)
I-6.20	Funcionalidad y usabilidad // Flexibilidad // Facilidad para el cambio de uso (CASBEE); (SBTool_07); (LEnSE)
I-6.21	Minimizar los costos de construcción (SBTool_07)
I-6.22	Minimizar los costos de mantenimiento / Facilidad de mantenimiento (SBTool_07; LEnSE)
I-6.23	Seguridad y Salud de la construcción (LEnSE)
I-6.24	Satisfacción de los ocupantes (LEnSE)

Tabla N° 25.- Lista 6 de indicadores identificados en el campo de las edificaciones. Fuente: Elaboración Propia.

Asimismo, las dimensiones que se emplean en la edificación para la aplicación de la sostenibilidad y que pueden tener cierta relevancia en el campo de la climatización son (Tabla N° 26):

Código	Dimensión
D-6.1	Energía
D-6.2	Agua
D-6.3	Materiales y residuos
D-6.4	Atmosfera
D-6.5	Social
D-6.6	Aspectos económicos

Tabla N° 26.- Lista 6. Dimensiones de sostenibilidad utilizadas en el campo de las edificaciones. Fuente: Elaboración Propia.

4.4.3.2.- En el sector energético.

En este apartado se consultaron y analizaron diversos informes publicados por organizaciones especializadas en el sector energético de alcance global, con el fin de identificar aquellos indicadores de sostenibilidad utilizados usualmente en este campo, que pudiesen ser de interés en el área de la climatización de edificaciones. Siendo citados en la Tabla N° 27, los documentos seleccionados por su interés, pertinencia y relevancia.

N°	Autor (es) / Año	Título	Publicación
1	IEA, 2014.	Energy Efficiency Indicators: Fundamentals on Statistics.	IEA Publications.
2	CEPAL, 2010.	Indicadores de políticas públicas en materia de eficiencia energética en América Latina y el Caribe, Comisión Económica para América Latina y el Caribe.	Publicación de las Naciones Unidas.
3	OIEA, 2008.	Indicadores energéticos del desarrollo sostenible: directrices y metodologías.	Publicaciones OIEA.
4	EEA, 2002	Energy and environment in the European Union	Environmental issue report, 31.

Tabla N° 27.- Informes seleccionados. Fuente: Elaboración Propia.

Generalmente, El sector energético se caracteriza por el uso de pocos indicadores, de los cuales se seleccionaron los siguientes (Tabla N° 28):

Código	Indicador
I-7.1	Consumo de energía
I-7.2	Uso de energías renovables
I-7.3	Costo de inversión
I-7.4	Emisiones de CO2
I-7.5	Emisiones NOx, SOx y VOC
I-7.6	Consumo de materiales
I-7.7	Impacto ambiental

Tabla N° 28.- Lista 7 de indicadores identificados en el sector energético. Fuente: Elaboración Propia.

Siendo las dimensiones de sostenibilidad identificadas las siguientes (Tabla N° 29):

Código	Dimensión
D-7.1	Económica
D-7.2	Ambiental
D-7.3	Materiales
D-7.4	Atmosfera

Tabla N° 29.- Lista 7. Dimensiones de sostenibilidad identificadas en el sector energético. Fuente: Elaboración Propia.

4.5.- Clasificación y priorización de los resultados.

Una vez aplicadas de manera independiente las seis técnicas propuestas para la identificación de indicadores, se obtuvieron siete listas con indicadores de interés para el área de la climatización de edificaciones.

De haber aplicado solo algunas de las técnicas de identificación propuestas, como se realiza generalmente en la selección de indicadores para la evaluación de la sostenibilidad en otros campos, pudiese significar la carencia de fiabilidad en el proceso de identificación, lo cual, como se explicó en el estado del arte, suele ser una de las debilidades de los sistemas de indicadores para la evaluación de la sostenibilidad. Por el contrario, al utilizar todas las técnicas propuestas, se espera una disminución considerable de los posibles errores o deficiencias, asegurando que se tiene en cuenta todos los puntos de vista de los involucrados, así como la experiencia disponible hasta el momento, en concordancia con la norma ISO 21929-1 sobre indicadores de sostenibilidad.

Ahora bien, debido a que la aplicación de cada técnica fue independiente, es fundamental proceder ahora con la organización, unificación y priorización de los resultados, tomando en consideración los criterios necesarios para la elaboración posterior de un análisis multicriterio.

Los resultados obtenidos como dimensiones más importantes para la sostenibilidad en el campo de la climatización de edificaciones se redujeron a veintidós (22), como se muestra en la Figura N° 39.

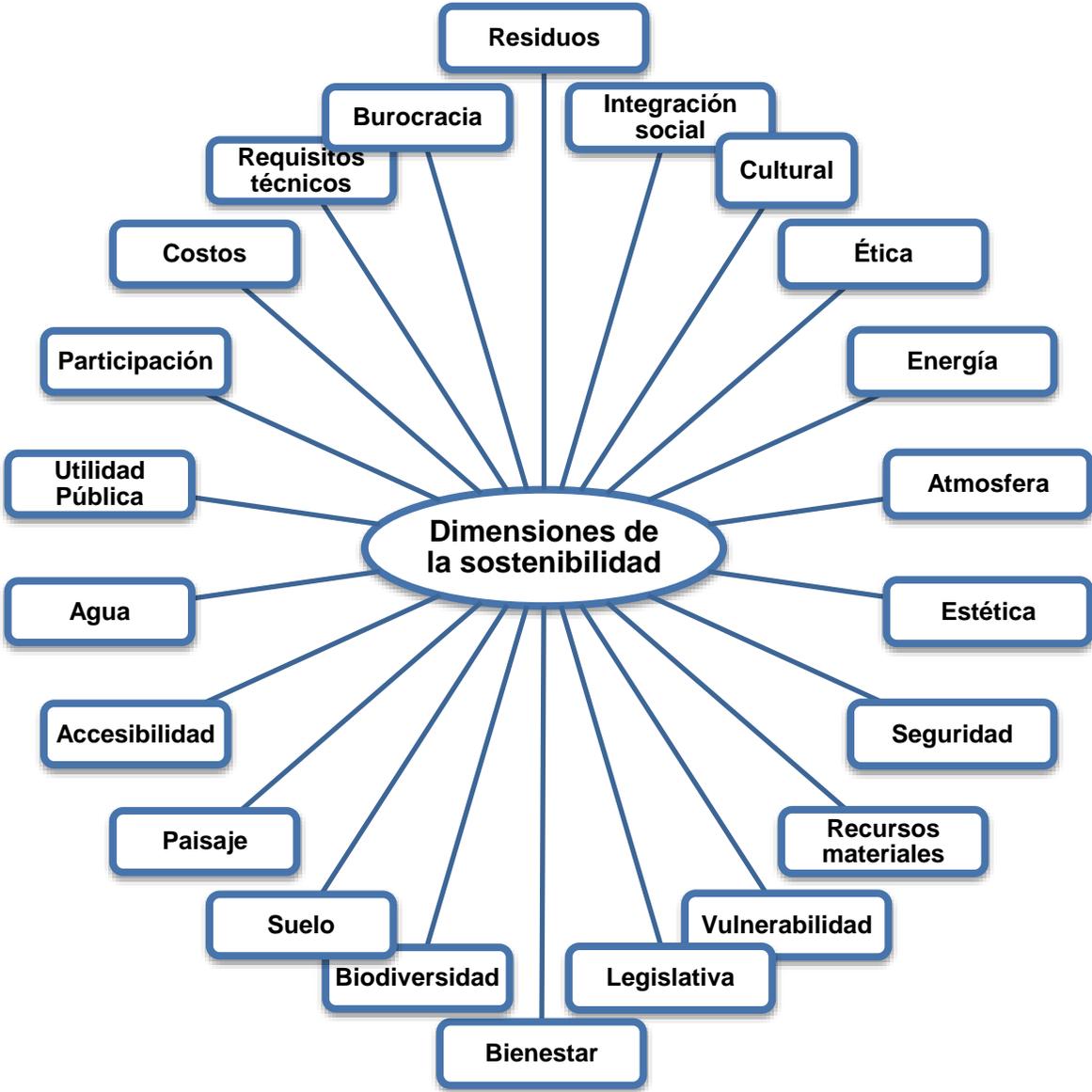


Figura N° 39.- Dimensiones de la sostenibilidad identificadas para el campo de la climatización de edificaciones. Fuente: Elaboración propia.

Por su parte, los indicadores obtenidos luego de una primera priorización basada en la agrupación de aquellos referidos a un mismo criterio (Norma ISO 21929-1), se estructuraron según los pilares de la sostenibilidad (Ambiental, social y económico), como se muestra en la imagen N° 40.



Figura N° 40.- Clasificación estructural de indicadores identificados para el campo de la climatización de edificaciones. Fuente: Elaboración propia.

Esta primera agrupación arrojó un total de 74 posibles indicadores. Sin embargo, no todos son necesariamente relevantes y/o se adaptan a las posibilidades y

necesidades de Venezuela en la actualidad, por lo que se realizó una segunda clasificación con base en la matriz de selección propuesta por la Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2007), cuyas dimensiones contemplan los requerimientos de información y la relevancia de cada indicador, para así facilitar la selección de solo aquellos con posibilidad real de aplicación.

Para los requerimientos de información se establecen cuatro niveles: completamente disponible, potencialmente disponible (Cuando la información puede generarse a tiempos y costos razonables), relacionado con información disponible (información no disponible pero que puede ser obtenida a partir de indicadores relacionados) y no disponible. Asimismo, para la relevancia se establecen también cuatro niveles: relevante, relacionado con un indicador relevante (no es directamente relevante pero se relaciona con un indicador relevante), relevante pero no considerado, e irrelevante. De esta forma se generó la matriz de la Tabla N° 30, cuyos números responden al orden de cada indicador presentado en la Figura N° 40, de izquierda a derecha y de arriba abajo.

	Relevante	Relacionado con un indicador relevante	Relevante pero no considerado	Irrelevante
Disponible	5, 9, 12, 14, 18, 21, 37, 47, 55, 56, 58, 66, 69	10, 13, 28, 31, 43		29
Potencialmente disponible	1, 11, 24, 26, 27, 32, 33, 34, 38, 39, 42, 45, 50, 51, 57, 60, 68, 74,	40, 52		
Relacionado con información disponible	15, 16, 17, 20, 22, 23, 41, 46, 59, 61, 65, 67, 71,73	3, 8, 19, 30, 35, 44, 48, 49, 54, 62, 70, 72		7, 36, 63
No disponible	2	4, 6, 25, 53, 64		

Por utilizar
 Por modificar
 Por identificar
 Por eliminar

Tabla N° 30.- Matriz de decantación de indicadores para el campo de la climatización de edificaciones. Fuente: Elaboración propia, con lineamientos de la Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2007).

La utilización de la matriz conllevó al descarte y/o modificación de algunos de los indicadores propuestos inicialmente al considerárseles como de poca o nula posibilidad de aplicación en el contexto venezolano actual, así como por su redundancia o poca correspondencia con la dimensión de la sostenibilidad en la que estaba inscrito, lo que llevó a la generación de una nueva lista con 42 indicadores (Figura N° 41).



Figura N° 41.- segunda clasificación estructural de indicadores en el campo de la climatización de edificaciones. Fuente: Elaboración propia.

Una vez obtenidos estos 42 indicadores, se procede a realizar una segunda y última priorización que permita la selección definitiva de aquellos que resulten de mayor importancia, y que en mayor medida representen el concepto de sostenibilidad en el campo de la climatización de edificaciones. Por lo tanto, como se indicó en la propuesta metodológica, se recurre al Proceso Analítico Jerárquico (AHP por sus siglas en inglés) para la asignación de la importancia relativa y peso a cada uno de los indicadores previamente seleccionados, por considerarse la técnica más fiable, en especial cuando se trabaja con un número significativo de variables.

Finalmente, se construyó una matriz capaz de expresar, en términos de sostenibilidad, la importancia relativa de cada indicador con respecto al resto (Anexo N° 3). El rango usado para la emisión de juicios de valor ha sido, entre +9 (mucho más importante) hasta -9 (mucho menos importante), como se hace usualmente en todo proceso matemático de análisis jerárquico.

Como limitación, cabe destacar que para completar la matriz fue necesario un número muy alto de juicios de valor, y aunque se contó con el apoyo de los distintos actores involucrados, así como la valoración de expertos en muchos de los indicadores propuestos en las distintas etapas de identificación (Encuestas y tormentas de ideas), en algunos casos fue necesario recurrir a la literatura existente, con el fin de obtener los juicios de valor pertinentes en cada uno de los casos.

Una vez recopiladas las valoraciones de comparación por pares, se sumaron los totales obtenidos en cada fila, dividiendo por la suma de todas las filas para normalizar el resultado, el cual, cuanto mayor es su puntuación, mayor es su importancia en relación con la sostenibilidad de un proyecto de climatización.

Este método ha resultado consistente al comprobarse que la inversa de la suma de los valores en cada columna da el mismo resultado que los valores normalizados en las filas, a la vez que se obtiene la unidad (condición de consistencia), al multiplicar los valores normalizados correspondientes a la suma de los valores de cada fila, por la suma de valores de cada columna (Tabla N° 31).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	AHP					
Emissiones de CO2	1	1	1	3	1	2	1	1	4	2	1	2	2	5	2	2	2	3	2	4	5	1	2	2	2	2	1	1	4	1	3	1	5	2	2	2	2	4	3	1	3	4	0,041	4,1%				
Calidad del aire interior	1	1	1	3	1	1	1	1	4	2	1	1	2	4	1	1	1	3	1	4	5	1	2	2	1	2	1	1	4	1	3	1	4	2	2	1	2	3	3	1	2	2	0,035	3,5%				
Consumo de materiales	1	1	1	2	1	1	1	1	3	1	1	1	2	4	1	1	1	3	1	3	4	1/2	2	1	1	1	1/2	1	3	1	2	1	4	2	1	1	2	3	3	1	2	3	0,031	3,1%				
Materiales Reciclados	1/3	1/3	1/2	1	1/2	1/2	1/3	1/2	1	1/2	1/2	1/2	1	2	1/2	1/2	1/2	1	1/2	1	2	1/2	1/2	1/2	1	1/2	1/2	1/2	1	1/2	1	1/2	2	1	1	1/2	1	2	1	1/2	1	2	0,015	1,5%				
Sustancias peligrosas	1	1	1	2	1	1	1	1	3	2	1	1	2	5	1	2	1	4	2	3	4	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	3	1	3	1	4	2	2	1	2	3	3	1	3	3	0,036	3,6%
Generación de residuos	1/2	1	1	2	1	1	1/2	1	3	1	1	1	1	4	1	1	1	2	1	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	2	1	4	2	1	1	1	3	2	1	2	3	0,029	2,9%			
Consumo de energía CV	1	1	1	3	1	2	1	2	4	2	1	2	2	6	2	2	4	2	4	5	1	2	2	2	1	2	4	1	4	1	6	2	2	2	4	3	2	4	3	2	3	4	0,045	4,5%				
Uso de energías limpias	1	1	1	2	1	1	1/2	1	3	1	1	1	2	6	1	1	1	2	1	3	4	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	2	1	4	2	1	1	2	3	2	1	2	3	0,030	3,0%			
Generación de energía	1/4	1/4	1/3	1	1/3	1/4	1/3	1	1/2	1/3	1/2	1/2	1	2	1/2	1/3	1/3	1	1/2	1	1	1/3	1/2	1	1	1/2	1/2	1/3	1/3	1	1/3	1	1/4	1	1/4	1	1/2	1/2	1/3	1/2	1	1	1/3	1	1	0,011	1,1%	
Alteración de ecosistemas	1/2	1/2	1	2	1/2	1	1/2	1	2	1	1/2	1/2	1	1	3	1	1	1	2	1	2	3	1/2	1	1	1	1	1/2	1	2	1/2	2	1/2	3	1	1	2	1	1	2	2	1/2	2	2	0,023	2,3%		
Huella Ecológica	1	1	1	2	1	1	1	1	3	2	1	1	2	5	2	1	1	2	2	3	5	1	1	2	1	1	1	1	1	3	1	3	1	3	1	2	1	2	3	3	1	2	3	0,034	3,4%			
Consumo de agua	1/2	1	1	2	1	1	1/2	1	2	1	1	1	2	3	1	1	1	3	2	3	3	1/2	1	1	1	1	1/2	1	3	1	2	1	4	2	1	1	1	3	2	1	2	3	0,028	2,8%				
Contaminación del agua	1/2	1/2	1/2	1	1/2	1	1/2	1/2	2	1	1	1/2	1/2	1	2	1	1/2	1/2	2	1	2	3	1/2	1	1	1	1	1/2	1	2	1/2	2	1/2	2	1	1	1	1	2	2	1/2	2	2	0,020	2,0%			
Área requerida de suelo	1/5	1/4	1/4	1/2	1/5	1/4	1/6	1/6	1/2	1/3	1/5	1/3	1/2	1	1/4	1/5	1/5	1	1/3	1/2	2	1/4	1/3	1/3	1/2	1/4	1/5	1/3	1/2	1/4	1/3	1/5	1	1/2	1/3	1/4	1/3	1	1/2	1/4	1/2	1	0,008	0,8%				
Contaminación del suelo	1/2	1	1	2	1	1	1/2	1	2	1	1/2	1	1	4	1	1/2	1/2	1	1	2	2	2	1	1	1	1	1/2	1	2	1/2	1	1/2	3	1	1	1	1	2	2	1/2	2	2	0,023	2,3%				
Vulnerabilidad al CC	1/2	1	1	2	1/2	1	1/2	1	3	1	1	1	2	5	2	1	1	2	2	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	2	1	4	2	1	1	1	3	2	1	2	2	0,029	2,9%			
Vulnerabilidad en DN	1/2	1	1	2	1	1	1/2	1	3	1	1	1	2	5	2	1	1	2	2	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	2	1	4	2	1	1	1	3	2	1	2	2	0,030	3,0%			
Impacto Visual	1/3	1/3	1/3	1	1/4	1/2	1/4	1/2	1	1/2	1/2	1/3	1/2	1	1	1/2	1/2	1	1	1	2	1/3	1/3	1/2	1	1	1/2	1/3	1/2	1	1/3	1	1/3	2	1/2	1/2	1/2	1/2	1	1	1/3	1	1	0,013	1,3%			
Disponibilidad al público	1/2	1	1	2	1/2	1	1/2	1	2	1	1/2	1/2	1	3	1	1/2	1/2	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1/2	1	2	1/2	1	1/2	3	1	1	1	1	1	2	2	1/2	2	2	0,022	2,2%		
Trabajadores locales CV	1/4	1/4	1/3	1	1/3	1/3	1/4	1/3	1	1/2	1/3	1/3	1/2	2	1/2	1/3	1/3	1	1/2	1	1	1/3	1/2	1/2	1/2	1/2	1/3	1/3	1	1/3	1	1/3	2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1	1	1/3	1	1	0,011	1,1%			
Formación y adiestramiento	1/5	1/5	1/4	1/2	1/4	1/3	1/5	1/4	1	1/3	1/5	1/3	1/3	1/2	1/2	1/3	1/3	1/2	1/2	1	1	1/4	1/2	1/3	1/2	1/3	1/4	1/3	1	1/4	1	1/4	1	1/2	1/2	1/4	1/3	1	1/2	1/4	1/2	1	0,009	0,9%				
Seguridad y salud	1	1	2	2	1	1	1	1	3	2	1	2	2	4	1	1	1	3	1	3	4	1	2	2	1	1	1	1	3	1	2	1	5	2	2	1	2	3	3	1	3	3	0,036	3,6%				
Responsabilidad social	1/2	1/2	1/2	2	1	1	1/2	1	2	1	1	1	1	3	1	1	1	3	1	2	2	1/2	1	1	1	1	1/2	1/2	2	1/2	1	1/2	3	1	1	1	1	2	2	1	2	2	0,023	2,3%				
Aceptación de usuarios	1/2	1/2	1	2	1/2	1	1/2	1	2	1	1/2	1	1	3	1	1	1	2	1	2	3	1/2	1	1	1	1	1/2	1	2	1/2	2	1/2	2	1/2	3	1	1	1	1	2	1	2	2	0,023	2,3%			
Respeto al patrimonio	1/2	1	1	1	1/2	1	1/2	1	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	1/2	4	1	1	1	1	1	2	2	1	2	2	0,026	2,6%			
Participación y control	1/2	1/2	1	2	1	1	1/2	1	3	1	1	1	1	4	1	1	1	2	1	2	3	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	1	3	1	1	1	1	1	1	2	2	1	2	2	0,027	2,7%		
Confort higrotérmico	1	1	2	2	1	1	1	1	3	2	1	2	2	5	2	1	1	3	2	3	4	1	2	2	1	1	1	1	1	3	1	3	1	5	2	2	1	2	3	3	1	3	4	0,037	3,7%			
Confort acústico	1	1	1	2	1/2	1	1/2	1	3	1	1	1	1	3	1	1	1	2	2	3	3	1	2	1	1	1	1	1	3	1	2	1	4	1	1	1	1	3	2	1	2	3	0,029	2,9%				
Costo de la energía	1/4	1/4	1/3	1	1/3	1/3	1/4	1/3	1	1/2	1/3	1/3	1/2	2	1/2	1/3	1/3	1	1/2	1	1	1/3	1/2	1/2	1/2	1/2	1/3	1/3	1	1/4	1	1/3	2	1/3	1/2	1/3	1/2	1	1	1/3	1	1	0,011	1,1%				
Costo de ciclo de vida	1	1	1	2	1	1	1	1	3	2	1	1	2	4	2	1	1	3	2	3	4	1	2	2	1	1	1	1	4	1	3	1	4	2	2	1	2	3	1	1	3	3	0,035	3,5%				
Costo / Beneficio	1/3	1/3	1/2	1	1/3	1/2	1/4	1/2	1	1/2	1/3	1/2	1/2	3	1	1/2	1/2	1	1/2	1	1	1/2	1	1/2	1/2	1/2	1/3	1/2	1	1/3	1	1/3	2	1/2	1/2	1/2	1/2	1	1	1/2	1	1	0,013	1,3%				
Transporte	1	1	1	2	1	1	1	1	4	2	2	1	2	5	2	1	1	3	2	3	4	1	2	2	2	1	1	1	3	1	3	1	5	2	2	1	2	3	3	1	3	3	0,037	3,7%				
Tipo de mano de obra	1/5	1/4	1/4	1/2	1/4	1/4	1/6	1/4	1	1/3	1/5	1/4	1/2	1	1/3	1/4	1/4	1/2	1/3	1/2	1	1/5	1/3	1/3	1/4	1/3	1/5	1/4	1/2	1/4	1/2	1/5	1	1/3	1/3	1/4	1/3	1/2	1/2	1/4	1/2	0,007	0,7%					
Durabilidad	1/2	1/2	1/2	1	1/2	1/2	1/2	1/2	2	1	1/2	1/2	1	2	1	1/2	1/2	2	1	2	2	1/2	1	1	1	1	1/2	1	3	1/2	2	1/2	3	1	1	1/2	1	2	1	1/2	1	2	0,019	1,9%				
Innovación	1/2	1/2	1	1	1/2	1	1/2	1	2	1/2	1/2	1	1	3	1	1	1	2	1	2	2	1/2	1	1	1	1	1/2	1	2	1/2	2	1/2	3	1	1/3	1	1	1	2	2	1/2	2	3	0,022	2,2%			
deconstrucción	1/2	1	1	2	1	1	1/2	1	3	1	1	1	1	4	1	1	1	2	1	2	4	1	1	1	1	1	1	1	2	1	4	2	1	1	1	1	3	2	1	2	3	0,029	2,9%					
Adaptabilidad	1/2	1/2	1/2	1	1/2	1	1/2	1/2	2	1	1/2	1	1	3	1	1	1	2	1	2	3	1/2	1	1	1	1	1/2	1	2	1/2	2	1/2	3	1	1	1	1	1	2	2	1/2	2	2	0,021	2,1%			
Cambios en infraestructura	1/4	1/3	1/3	1/2	1/3	1/3	1/4	1/3	1	1/2	1/3	1/3	1/2	1	1/2	1/3	1/3	1	1/2	1	1	1/3	1/2	1/2	1/2	1/3	1/3	1	1/3	1	1/3	2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1	1	1/3	1	1	0,011	1,1%				
Autoconstrucción	1/3	1/3	1/3	1	1/3	1/2																																										

A continuación se muestran las puntuaciones obtenidas por cada indicador (De mayor a menor), luego de la aplicación del método AHP. Se optó por la elección de los primeros 21 (Tabla N° 32), con la finalidad de trabajar finalmente con 7 indicadores por cada pilar de la sostenibilidad (Ambiental, social, económico) (Figura N° 42). Todo esto tomando como referencia el mencionado principio de Pareto, y en respuesta a la necesidad de reducir al máximo el número de indicadores a trabajar, sin perder la representatividad en la evaluación de la sostenibilidad para el caso de la climatización de edificaciones.

Importancia	Macro indicador	Valoración	Importancia (%)
1	Consumo de energía en ciclo de vida	0,045	4,47%
2	Emisiones de CO2	0,041	4,15%
3	Transporte	0,037	3,70%
4	Confort higrotérmico	0,037	3,69%
5	Materiales y/o sustancias peligrosas	0,036	3,65%
6	Seguridad y salud	0,036	3,56%
7	Calidad del aire interior	0,035	3,51%
8	Costo de ciclo de vida	0,035	3,48%
9	Huella Ecológica	0,034	3,37%
10	Acreditación / Certificación de calidad	0,033	3,25%
11	Consumo de materiales	0,031	3,09%
12	Uso de energías renovables	0,030	3,05%
13	Vulnerabilidad ante desastres naturales	0,030	2,99%
14	Confort acústico	0,029	2,93%
15	Vulnerabilidad ante el cambio climático	0,029	2,92%
16	Generación de residuos	0,029	2,86%
17	Previsión para la deconstrucción	0,029	2,85%
18	Consumo de agua	0,028	2,81%
19	Participación y control	0,027	2,71%
20	Respeto al patrimonio histórico y cultural	0,026	2,57%
21	Responsabilidad social	0,023	2,34%
22	Contaminación del suelo	0,023	2,33%
23	Aceptación de usuarios y comunidades	0,023	2,31%
24	Alteración de ecosistemas	0,023	2,31%

25	Disponibilidad al público	0,022	2,20%
26	Innovación	0,022	2,17%
27	Adaptabilidad	0,021	2,15%
28	Contaminación del agua	0,020	2,01%
29	Durabilidad	0,019	1,91%
30	Materiales Reciclados	0,015	1,53%
31	Acceso al financiamiento	0,013	1,34%
32	Autoconstrucción	0,013	1,33%
33	Costo / Beneficio	0,013	1,32%
34	Impacto Visual	0,013	1,28%
35	Cumplimiento de normas	0,011	1,13%
36	Trabajadores locales en ciclo de vida	0,011	1,11%
37	Cambios en infraestructura	0,011	1,08%
38	Costo de la energía	0,011	1,08%
39	Generación de energía	0,011	1,08%
40	Formación y adiestramiento	0,009	0,87%
41	Área requerida de suelo	0,008	0,77%
42	Tipo de mano de obra	0,007	0,74%

Tabla N° 32.- Indicadores organizados según el orden de importancia (Método AHP). Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto, los indicadores clave seleccionados para la evaluación de la sostenibilidad en el campo de la climatización de edificaciones, obtenidos como resultado de la aplicación de la metodología propuesta en su primera fase, son los que se muestran en la Figura N° 42.



Figura N° 42.- Grupo de indicadores claves seleccionados para la evaluación de la sostenibilidad en el campo de la climatización de edificaciones. Fuente: Elaboración propia.

Una vez identificados y seleccionados el conjunto de indicadores, a continuación se procede a su análisis y evaluación en el marco de la normativa ISO 21929-1, corroborando no haber cometido los principales errores que fueron identificados en otros modelos o sistemas basados en indicadores, los cuales fueron documentados en el estado del arte.

4.6.- Análisis y evaluación del sistema de indicadores.

Se inició el análisis de los indicadores según su influencia a lo largo del ciclo de vida de los proyectos de climatización de edificaciones, clasificándose cada uno, respecto a sus requerimientos o impactos en cada fase (Tabla N° 33). Este análisis no debe entenderse como que alguno de los indicadores no debe ser implementado y evaluado desde la fase inicial de planificación y diseño en cada proyecto, por lo que al no verse reflejado algún indicador en alguna de las fases del ciclo de vida representadas en la mencionada tabla, es simplemente porque no influye para su valoración.

Dimensiones	Macro-indicador	Etapas consideradas en el macro-indicador				
		Planificación / diseño	Construcción / instalación	uso	mantenimiento	Fin de vida útil
1. Ambiental	1.1.- Emisiones de CO2	-	X	X	X	X
	1.2.- Materiales y/o sustancias peligrosas	-	X	X	X	X
	1.3.- Huella Ecológica	-	X	X	X	X
	1.4.- Consumo de materiales	-	X	-	X	-
	1.5.- Uso de energías renovables	-	X	X	X	X
	1.6.- Generación de residuos	-	X	X	X	X
	1.7.- Consumo de agua	-	X	X	X	X
2. Social	2.1.- Confort higrotérmico	-	-	X	-	-
	2.2.- Seguridad y salud	X	X	X	X	X
	2.3.- Calidad del aire interior	-	-	X	X	-
	2.4.- Confort acústico	-	-	X	-	-
	2.5.- Participación y control	X	X	X	X	X
	2.6.- Respeto al patrimonio histórico y cultural	X	X	X	X	-
	2.7.- Responsabilidad social	-	X	-	-	-
3. Económico	3.1.- Consumo de energía en ciclo de vida	-	X	X	X	X
	3.2.- Transporte	-	X	-	X	X
	3.3.- Costo del ciclo de vida	X	X	X	X	X
	3.4.- Acreditación / Certificación de calidad	X	X	-	X	X
	3.5.- Vulnerabilidad ante desastres naturales	-	X	X	-	-
	3.6.- Vulnerabilidad ante el cambio climático	-	-	X	-	-
	3.7.- Previsión para la deconstrucción	X	-	-	-	X

Tabla N° 33.- Análisis de la influencia de cada indicador seleccionado por fases del ciclo de vida de un proyecto de climatización de edificaciones. Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, uno de los principales problemas o debilidades identificados en muchos de los sistemas de indicadores existentes, tanto a nivel urbano como en el sector de la construcción, es el excesivo peso que suele tener el área ambiental respecto a la social y económica, por lo que se realizó el análisis de cada indicador según su peso obtenido, para así estimar la distribución por cada pilar del desarrollo sostenible, demostrando un equilibrio consistente (Figura N° 43).

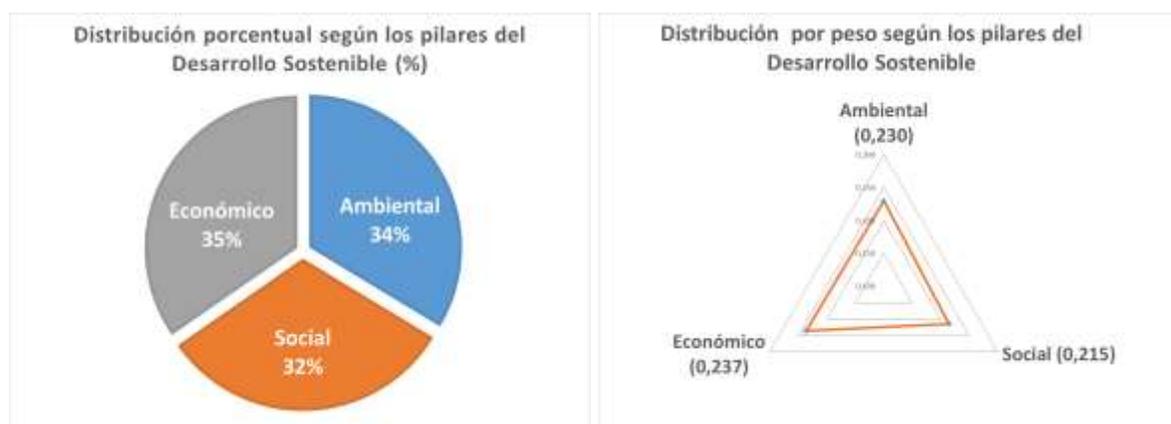


Figura N° 43.- Distribución porcentual y por pesos del grupo de indicadores seleccionados, según los pilares del desarrollo sostenible. Fuente: Elaboración propia.

Igualmente es importante realizar el análisis según los pesos relativos de cada indicador, pero ahora referidos a las dimensiones de la sostenibilidad seleccionadas una vez aplicada la primera fase de la metodología propuesta. Como se puede observar en la Figura N° 44, este análisis permite identificar que los requisitos técnicos, el bienestar, los costos, los recursos materiales y la vulnerabilidad se ubican como los de mayor importancia frente al resto de las dimensiones.



Figura N° 44.- Distribución de pesos del grupo de indicadores seleccionados, según las dimensiones de sostenibilidad. Fuente: Elaboración propia.

Es importante destacar que la suma de cada dimensión no es igual a la unidad, lo cual se debe a que un mismo indicador puede afectar a distintas dimensiones, como por ejemplo el caso del consumo de materiales, que afecta tanto a la dimensión recursos materiales (menor impacto) como a la dimensión costos (menor costo).

Ahora bien, la evaluación de cada indicador seleccionado podría suponer una investigación en sí misma, como en efecto ocurre en el caso de las emisiones de CO₂ o la Huella Ecológica, por solo citar algunos. Sin embargo, puesto que para el caso de la evaluación de distintas alternativas en un proyecto de climatización de edificaciones se suele trabajar en etapas tempranas del proyecto, será común el no disponer de información relevante que permita cuantificar rigurosamente algunos indicadores, por lo tanto se tomará como premisa en estos casos, realizar un análisis

aproximado o cualitativo que permita una rápida aproximación a la situación de cada solución desde el punto de vista de la sostenibilidad.

En este sentido, existe un amplio debate entre la valoración cualitativa o cuantitativa de los indicadores de sostenibilidad. Autores como Bell y Morse (2008) defienden la ventaja del enfoque holístico y cualitativo frente al esfuerzo de tomar decisiones de manera cuantitativa y estricta. Por su parte, Aguado (2010) presenta a través de ejemplos, cómo la opinión de expertos en un análisis cualitativo suelen aportar valores muy próximos a los obtenidos de manera cuantitativa, sin la necesidad de realizar mediciones y obtener valores exactos.

En definitiva, el objetivo del sistema de indicadores propuestos, es poder discernir frente a un eventual grupo de alternativas para la climatización de edificaciones, cual es la opción más sostenible. Por lo tanto, en la figura N° 45 se muestra la secuencia de aplicación propuesta para la ejecución del modelo.



Figura N° 45.- Propuestas de aplicación del sistema de indicadores para la toma de decisiones. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en el esquema de la figura N° 45, se propone la utilización del sistema de indicadores desde la fase inicial del proyecto, en función de analizar las distintas alternativas atendiendo a las variables de sostenibilidad.

Fundamental es entonces el desarrollo de cada uno de los criterios que, tanto en el caso de una evaluación cualitativa, como cuantitativa, se deberán tener en consideración (Tabla N° 34).

Pilares	Peso	Macro-Indicadores	Medición	Micro-Indicadores	Modo de cálculo	Unidades	Peso del criterio
1. Ambiental	0,337	1.1.- Emisiones de CO2	Cuantitativo	Cantidad de emisiones de CO2 al ambiente	Estimación de las emisiones de CO2 durante ciclo de vida	t CO2eq	0,061
		1.2.- Materiales y/o sustancias peligrosas	Cuantitativo	Uso de refrigerantes Clorofluorocarburos (si/no)	Especificaciones técnicas	N/A	0,054
		1.3.- Huella Ecológica	Cuantitativo	Huella Ecológica del proyecto	Cálculo de la Huella Ecológica con herramientas existentes	ha	0,049
		1.4.- Consumo de materiales	Cuantitativo	Cantidad de materiales utilizados	Cuantificación según partidas del proyecto	(t, m3, m2)	0,045
		1.5.- Uso de energías renovables	Cuantitativo	Uso de energía renovable durante ciclo de vida	Porcentaje de la energía renovable empleada, frente al total utilizado durante ciclo de vida	% de kWh totales	0,045
		1.6.- Generación de residuos	Cuantitativo	Cantidad de residuos generados	Estimación de residuos generados	(t, m3)	0,042
		1.7.- Consumo de agua	Cuantitativo	Consumo de Agua	Estimación del consumo de agua diario	m3	0,041
2. Social	0,315	2.1.- Confort higrotérmico	Cualitativo / Cuantitativo	Tiempo fuera de la zona de confort	Porcentaje de tiempo fuera de la zona de confort / Opinión de expertos	% de tiempo	0,054
		2.2.- Seguridad y salud *	Cualitativo / Cuantitativo	Medidas de seguridad y salud implementadas	Nº de medidas implementadas / Especificaciones técnicas / Opinión de expertos	N/A	0,052
				Índices de peligrosidad de la tecnología			
		2.3.- Calidad del aire interior	Cuantitativo	Renovación de aire interior	Numero de renovaciones de aire por hora / especificaciones técnicas	m3/h	0,052
		2.4.- Confort acústico	Cuantitativo	Generación de ruido al interior del espacio	Especificaciones técnicas / Mediciones in situ	dB	0,043
		2.5.- Participación y control *	Cuantitativo	Información pública y disponible del proyecto Propuestas de la sociedad incorporadas al proyecto	Nº de medidas informativas y de difusión / Nº de propuestas de la comunidad integradas al proyecto	Nº de acciones	0,040
		2.6.- Respeto al patrimonio histórico y cultural *	Cualitativo	Incompatibilidad cultural y/o costumbres	Opinión de Expertos / Valoración del Patrimonio Afectado	N/A	0,038
Afectación al patrimonio							
2.7.- Responsabilidad social	Cualitativo / Cuantitativo	Medidas de responsabilidad social consideradas	Opinión de expertos / Nº de medidas de responsabilidad social	N/A	0,037		
3. Económico	0,347	3.1.- Consumo de energía en ciclo de vida	Cuantitativo	Consumo de energía total	Estimación del consumo energético en el ciclo de vida	kWh	0,066
		3.2.- Transporte	Cuantitativo	Distancia a recorrer hasta la obra	Obtención de la distancia desde el lugar de fabricación de componente y/o equipos hasta la obra	Km	0,054
		3.3.- Costo del ciclo de vida	Cuantitativo	Costo del ciclo de vida	Calculo de los costos de construcción o adquisición, instalación, mantenimiento y demolición	Bsf / USD	0,051
		3.4.- Acreditación / Certificación de calidad	Cualitativo / Cuantitativo	Certificación o acreditación de procesos o tecnologías dentro del proyecto	Nº de certificaciones o acreditaciones / Opinión de expertos / Especificaciones técnicas / Garantía	N/A	0,048
		3.5.- Vulnerabilidad ante desastres naturales	Cualitativo	Análisis de vulnerabilidad ante desastres naturales	Opinión de Expertos / Elaboración de escenarios según zonas de riesgos naturales	N/A	0,044
		3.6.- Vulnerabilidad ante el cambio climático	Cualitativo	Análisis de vulnerabilidad ante el cambio climático	Opinión de Expertos / Elaboración de escenarios según zonas potencialmente afectadas por cambio climático	N/A	0,043
		3.7.- Previsión para la deconstrucción	Cualitativo / Cuantitativo	Nivel de previsión para la deconstrucción	Porcentaje de deconstrucción previsto frente al total de la obra ejecutada / Opinión de expertos	% del total	0,042

* Este indicador posee sub-indicadores

Tabla N° 34.- Criterios de evaluación para cada indicador. Fuente: Elaboración propia.

4.7.- Síntesis del capítulo

En la primera parte se desarrolló la fase inicial de la metodología propuesta para la obtención de indicadores de sostenibilidad para proyectos de climatización en el contexto venezolano. Se comenzó identificando los indicadores potenciales a través de la aplicación de las cinco técnicas propuestas, las cuales arrojaron finalmente siete listas independientes con posibles indicadores. Posteriormente se procedió a su clasificación y priorización para ajustarlos al marco establecido por la norma ISO 21929-1 sobre indicadores de sostenibilidad, así como al contexto venezolano actual, obteniendo finalmente un grupo de 42 indicadores clave, que fueron comparados por pares según su importancia relativa, mediante la aplicación del Proceso Analítico Jerárquico

Realizada esta última priorización, y tomando como referencia el principio de Pareto para la reducción del total de indicadores estudiados sin perder representatividad, se optó por seleccionar los 21 con mayor puntuación, con miras en garantizar una distribución equilibrada de 7 indicadores por cada pilar de la sostenibilidad (ambiental, social y económico), en el campo de la climatización de edificaciones.

Posteriormente este grupo final de 21 indicadores fue analizado respecto a su influencia en las distintas fases del ciclo de vida del proyecto, así como lo que respecta a su peso en cada uno de los pilares y dimensiones de la sostenibilidad estudiadas.

En este sentido, en el próximo capítulo se desarrolla el caso práctico de una edificación industrial ubicada en la ciudad de Caracas, con tres opciones tecnológicas para su climatización. El objetivo será poder aplicar cada indicador, y el método multicriterio para la selección de las alternativas más sostenibles.

CAPITULO 5. CASO DE ESTUDIO. APLICACIÓN EN EL CONTEXTO VENEZOLANO

En este capítulo se procede a la aplicación del sistema de indicadores seleccionados con miras en su evaluación y validación. El objetivo se centra en la validación del modelo en un caso de estudio práctico adaptado al contexto venezolano, identificando así las debilidades, fortalezas, oportunidades y limitaciones.

Como caso de estudio se seleccionó un proyecto de climatización pasiva de edificaciones en Venezuela, desarrollado como parte de investigaciones previas (Lorenzo, 2007), (Lorenzo et al, 2008), (Piñate, et al, 2013), (Piñate, 2016), llevadas a cabo dentro del área de Requerimientos de Habitabilidad de las Edificaciones, adscrita al Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción (IDEC), de la Universidad Central de Venezuela (UCV).

Entre las premisas que prevalecieron para la selección del proyecto destaca la disponibilidad y accesibilidad a los distintos estudios que lo componen, lo que permite disponer de la mayor información posible, a la vez que se facilita el acceso a los autores, asesores y colaboradores de la investigación como apoyo fundamental para una correcta aplicación de la metodología propuesta.

5.1.- Descripción del caso de estudio.

Se trata de una edificación ubicada en la zona industrial Monte Rosa, en el kilómetro 5 de la carretera Baruta a El Placer, estado Miranda (Figura N° 46). Con un área de planta libre de 1.350 m² dedicados al uso industrial.



Figura N° 46.- Imagen satelital con la ubicación del proyecto propuesto. Fuente: GoogleEarth (2007).

El tipo de uso y su ubicación contigua a otras edificaciones conlleva a la necesidad de recurrir a la climatización artificial de los espacios interiores, utilizando usualmente equipos de aire acondicionado tradicionales pese al elevado consumo energético asociado, con el agravante que se trata de una edificación de planta libre y gran altura rodeado de cuatro paredes ciegas construidas con bloques de cemento en obra limpia y techos de lámina metálica galvanizadas. (Figura N° 47).

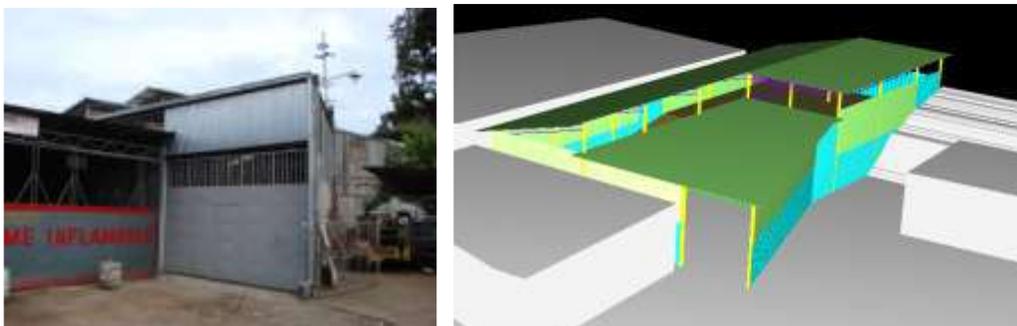


Figura N° 47.- Levantamiento del caso de estudio. Fuente: Elaboración propia.

En dicho contexto, desde el IDEC se desarrolló a nivel académico un proyecto de climatización para esta edificación, proponiendo, junto a las tecnologías tradicionales, la utilización de nuevas alternativas de climatización denominadas pasivas y/o cuasi pasivas, las cuales cuentan con un amplio desarrollo experimental en el país (Anexo N° 2). Llegando finalmente al planteamiento de tres alternativas concretas bien sustentadas y documentadas:

Alternativa N° 1: La climatización total de la edificación mediante el uso de equipos tradicionales de aire acondicionado (Requiere un bajo número de modificaciones en la arquitectura existente, ya que se enfoca solo en la reducción de las pérdidas directas de aire frío por aberturas y lo referente a la instalación de los equipos y ductos).

Alternativa N° 2: La climatización total de la edificación utilizando un sistema cuasi pasivo de climatización por conductos enterrados (Requiere mediano número de modificaciones en la arquitectura existente, debido a que se requiere realizar aberturas en las paredes, a la vez realizar trabajos de aislamiento térmico).

Alternativa N° 3: La climatización total de la edificación de manera mixta, mediante el uso de un techo estanque junto a equipos tradicionales de aire acondicionado de menor capacidad (Requiere gran número de modificaciones en la arquitectura existente, ya que se requeriría realizar lo mismo que la alternativa N° 1, aunado al hecho de la sustitución total del techo actual por una nueva estructura que permita la instalación del estanque de techo, que a su vez también será protegido durante el día por otro techo transformable (Anexo N° 8)).

Vale acotar que los sistemas alternativos de climatización propuestos destacan por su potencial en la disminución del consumo energético, lo que los convierte en una alternativa para los arquitectos que procuran alcanzar la sostenibilidad en sus obras. Sin embargo, como se constató en la revisión sistemática realizada anteriormente, no se conoce hasta el momento un estudio donde se evalúen las prestaciones de estos sistemas frente a los sistemas de climatización tradicionales desde el punto de vista de la sostenibilidad, por lo que no se conoce si además de ahorrar energía eléctrica contribuyen realmente, y en qué medida, con la sostenibilidad de las edificaciones en comparación con los sistemas tradicionales.

Es por esto que el caso de estudio seleccionado adquiere gran interés al permitir no solo cumplir con el objetivo de evaluación y validación del sistema de indicadores propuesto, sino que además permitirá enriquecer la línea de investigación en donde se inscribe el proyecto, al realizar una evaluación de las distintas alternativas de climatización propuestas, no solo desde el punto de vista de costos y ahorro energético como hasta el momento se había hecho, sino frente al paradigma de la sostenibilidad.

En este sentido, se decidió fijar una vida útil de 15 años para cada sistema propuesto, de manera que pudiese considerarse los impactos generados hasta su disposición final en los respectivos análisis.

Como limitación del caso de estudio seleccionado se destaca que no en todos los casos se dispone de la información necesaria para la completa aplicación de los indicadores. Esto resulta lógico debido a que algunos son aún muy novedosos, por lo que no suelen considerarse en la práctica de los proyectos. En estos casos, se estimarán en órdenes de magnitud los valores adecuados para cada indicador con la asistencia directa de los investigadores y expertos que participaron en el desarrollo del proyecto.

Finalmente, se procede a continuación con la evaluación cualitativa y/o cuantitativa de cada indicador con base en lo descrito en el capítulo anterior, analizando cada

una de las alternativas de forma individual, en correspondencia con la información suministrada por el proyecto y/o sus autores.

5.2.- Aplicación de indicadores ambientales

5.2.1.- Emisiones de CO₂

Las emisiones de CO₂ es uno de los indicadores más conocidos y estudiados en la actualidad debido a que está estrechamente relacionado con el calentamiento global por efecto invernadero. El objetivo principal de este indicador radica en la reducción de las emisiones de CO₂ eq desde el inicio de los proyectos de climatización de edificaciones, con miras en identificar la alternativa que menor impacto genere sobre el cambio climático.

Para la cuantificación de las emisiones totales de CO₂ en el caso de estudio se recurre a las partidas presupuestarias con el fin de estimar las emisiones en cada una de ellas, pudiendo finalmente sumarlas y obtener así un monto global. La estimación se realizó con la ayuda del Banco Estructurado de Datos de Elementos Constructivos (BEDEC) del Instituto Tecnológico de la Construcción de Cataluña (ITeC, 2016), que cuenta con información detallada, tanto de la energía incorporada, como de las emisiones de CO₂ asociadas a los materiales, maquinarias y procesos.

La selección del banco de datos del ITeC radica en que en él se encuentra una amplia cantidad de partidas de construcción adaptables a este tipo de proyectos, incluyendo sus respectivos análisis ambientales los cuales se adaptan muy bien para la realización de estimaciones en la etapa de proyecto. Sin embargo, es importante resaltar que no es necesaria la utilización exclusiva de este banco de datos, pero de ser posible, se recomienda el uso de datos compatibles entre sí o provenientes de un mismo banco, para así garantizar una comparación entre los mismos elementos.

Una vez realizada la estimación de las emisiones de CO₂ para cada partida presupuestaria (Anexo N° 4), se obtuvieron los siguientes valores totalizados por alternativa propuesta (Tabla N° 35).

	Alternativa N° 1	Alternativa N° 2	Alternativa N° 3
EMISIONES TOTALES DE CO₂ (kgCO₂)	5.316.532,76	236.825,65	3.363.675,98

Tabla N° 35.- Emisiones de CO₂ totales (kg) por alternativa estudiada. Fuente: Elaboración propia con base en datos del ITeC, 2016.

Para efecto de su valoración final, al normalizar estos resultados en un rango de 0 a 1 según la fórmula de normalización 3B, se obtuvieron los siguientes resultados (Tabla N° 36).

	Alternativa N° 1	Alternativa N° 2	Alternativa N° 3
VALOR NORMALIZACIÓN	0,5	1,00	0,69

Tabla N° 36.- Valoración normalizada de alternativas según emisiones de CO₂. Fuente: Elaboración propia.

5.2.2.- Materiales y/o sustancias peligrosas

Este indicador se refiere principalmente al uso de Clorofluorocarburos y otros refrigerantes tóxicos en los sistemas de climatización, sin embargo, debe ser considerado cualquier otro material o sustancia que pudiera ocasionar impactos negativos a la salud en cualquier etapa del ciclo de vida.

Como en el caso de estudio ninguna de las alternativas contempla el uso Clorofluorocarburos, el análisis se enfoca en el uso de materiales como el PVC, Poliestireno, y Lana de Roca (Aislante térmico) en el proyecto (Tabla N° 37).

	PVC (m2)	Poliestireno (m2)	Lana de Roca (m2)
Alternativa N° 1	0	0	110
Alternativa N° 2	201	1530	24
Alternativa N° 3	14,40	950	66

Tabla N° 37.- Cantidad de materiales peligrosos utilizados en las diferentes alternativas. Fuente: Elaboración propia.

Para la normalización de estos valores se recurre al cálculo de la media ponderada en cada alternativa, para luego realizar su valoración final en el rango de 0 a 1 según la fórmula de normalización 3B, obteniendo los siguientes resultados (Tabla N° 38).

	Alternativa N° 1	Alternativa N° 2	Alternativa N° 3
VALOR NORMALIZACIÓN	1,00	0,50	0,72

Tabla N° 38.- Valoración normalizada de alternativas según uso de materiales peligrosos. Fuente: Elaboración propia.

5.2.3.- Huella Ecológica

La huella ecológica es un indicador poco desarrollado en cuanto a materiales y procesos constructivos se refiere. Por tanto se propone la utilización de la metodología desarrollada por Doménech (2007) con base en los trabajos de Wackernagel y Ress (1996), la cual fue concebida para el análisis de empresas y corporaciones en el ciclo de vida de una actividad determinada.

Esta metodología a pesar de no ser diseñada para el análisis de proyectos de climatización se adapta correctamente, en el entendido, de que el objetivo es la estimación del impacto de las distintas actividades del proyecto, mediante la cuantificación de la superficie productiva necesaria (en hectáreas) para satisfacer las necesidades de consumo y absorber los desechos.

En lo que respecta al caso de estudio, según los resultados de los estudios preliminares que lo sustentan, se introdujeron los datos estimados correspondiente a los consumos, emisiones, superficies ocupadas, materiales y actividades, en una estructura de cálculo desarrollada por Doménech et al, (2010) en el programa Excel (Anexo N° 5), con el fin de obtener la huella ecológica de cada alternativa estudiada como se muestra a continuación (Tabla N° 39).

	Alternativa N° 1	Alternativa N° 2	Alternativa N° 3
HUELLA ECOLÓGICA (ha)	3.149,10	165,90	2.060,30

Tabla N° 39.- Estimación de la huella ecológica (ha) por alternativa estudiada. Fuente: Elaboración propia según metodología desarrolla por Doménech et al, (2010)

De acuerdo con estos resultados, su normalización en el rango de 0 a 1 según la fórmula 3B quedó de la siguiente manera (Tabla N° 40).

	Alternativa N° 1	Alternativa N° 2	Alternativa N° 3
VALOR NORMALIZACIÓN	0,50	1,00	0,68

Tabla N° 40.- Valoración normalizada de alternativas según su huella ecológica. Fuente: Elaboración propia.

5.2.4.- Consumo de materiales

Este indicador se basa en la gestión de recursos y materiales empleados en cada alternativa. El objetivo del análisis es la evaluación de las cantidades de material empleados en cada solución propuesta, ubicándose como la mejor opción aquella con menor cantidad de recursos utilizados y mejor optimización en su uso.

En los estudios preliminares del proyecto seleccionado como caso de estudio se realizó una estimación de las distintas partidas para su cuantificación económica. En este caso, se han utilizado estas mismas partidas para la estimación del consumo de materiales asociado a cada alternativa propuesta obteniendo el siguiente resultado (Tabla N° 41).

	Alternativa N° 1	Alternativa N° 2	Alternativa N° 3
CONSUMO DE MATERIALES (t)	15,43	25,06	102,15

Tabla N° 41.- Estimación de consumo de materiales (t) por alternativa estudiada. Fuente: Elaboración propia.

Para su normalización se unificaron todos los valores en toneladas (t), para luego llevarlos al rango de 0 a 1 para efecto de su valoración final mediante el uso de la fórmula 3B, obteniendo así los siguientes resultados (Tabla N° 42).

	Alternativa N° 1	Alternativa N° 2	Alternativa N° 3
VALOR NORMALIZACIÓN	1,00	0,94	0,50

Tabla N° 42.- Valoración normalizada de alternativas según el consumo de materiales. Fuente: Elaboración propia.

5.2.5.- Uso de energías renovables

Se trata de un indicador común en los sistemas de indicadores relacionados a las edificaciones, y con cada vez mayor importancia en la actualidad. Lo que se busca con el uso de energías renovables es lograr reducir la dependencia de combustibles fósiles y por ende disminuir su impacto ambiental.

Su cuantificación puede realizarse considerando la red comercial local, o por su utilización directa en algunas de las fases del ciclo de vida del proyecto.

A mayor porcentaje de energías renovables respecto al total mejor valorado estará este indicador, por lo que para su normalización de 0 a 1 para efecto de su valoración final se deberá utilizar la fórmula 3A.

Sin embargo, en este caso práctico no se consideró en ninguna de las alternativas estudiadas la utilización de fuentes de energías renovables, por lo tanto, con respecto a este indicador no se observa diferencia alguna entre las alternativas, quedando los resultados para la valoración final de este indicador de la siguiente manera (Tabla N° 43).

	Alternativa N° 1	Alternativa N° 2	Alternativa N° 3
VALOR NORMALIZACIÓN	0,50	0,50	0,50

Tabla N° 43.- Valoración normalizada de alternativas respecto al uso de energías renovables. Fuente: Elaboración propia.

5.2.6.- Generación de residuos

La gestión de residuos es fundamental en los proyectos debido a la gran cantidad de materiales empleados y a los residuos generados, en su mayoría residuos de construcción y demolición (RCD) con grandes posibilidades de reutilización y/o reciclaje.

El objetivo principal de este indicador es la reducción de los residuos destinados a vertederos, maximizar el reciclaje, la reutilización y la valorización. Para la evaluación de este indicador se recurre a los resultados de los estudios previos referentes a los

volúmenes de RCD estimados para cada una de las alternativas y expresados en m³. Mostrando a continuación los resultados obtenidos (Tabla N° 44).

	Alternativa N° 1	Alternativa N° 2	Alternativa N° 3
GENERACIÓN DE RESIDUOS (m³)	163	287	1.146

Tabla N° 44.- Estimación de residuos generados (t) por alternativa estudiada. Fuente: Elaboración propia.

Ahora bien, como a nivel de proyecto no se suele disponer de los planes de gestión de residuos y el porcentaje de reutilización, reciclaje y valorización, los datos estimados de la generación de residuos de manera global para efectos de su valoración final debe considerarse como un valor subjetivo cuantificable, por lo que su normalización en el rango de 0 a 1 debe realizarse con la fórmula 2B, obteniendo los siguientes resultados (Tabla N° 45).

	Alternativa N° 1	Alternativa N° 2	Alternativa N° 3
VALOR NORMALIZACIÓN	1,00	0,57	0,14

Tabla N° 45.- Valoración normalizada de alternativas según la generación de residuos. Fuente: Elaboración propia.

5.2.7.- Consumo de agua

Este indicador se basa en la gestión del agua. El objetivo de su análisis es la evaluación de la cantidad de agua (m³) requerida por cada alternativa para su funcionamiento durante el ciclo de vida. Cuanto más baja es la puntuación mayor es la protección del recurso agua y menor el impacto (más sostenible es el proyecto).

Para su aplicación se recurre a la información suministrada por los estudios preliminares del proyecto con los siguientes resultados (Tabla N° 46).

	Alternativa N° 1	Alternativa N° 2	Alternativa N° 3
CONSUMO DE AGUA (m3)	82	287	11.100

Tabla N° 46.- Estimación de consumo de agua (m3) por alternativa estudiada. Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con estos resultados, su normalización en el rango de 0 a 1 según la fórmula 2B quedó de la siguiente manera (Tabla N° 47).

	Alternativa N° 1	Alternativa N° 2	Alternativa N° 3
VALOR NORMALIZACIÓN	1,00	0,29	0,01

Tabla N° 47.- Valoración normalizada de alternativas según el consumo de agua. Fuente: Elaboración propia.

5.3.- Aplicación de indicadores sociales

5.3.1.- Confort higrotérmico

Este indicador surge de la necesidad de evaluar el logro de las condiciones de confort térmico y humedad dentro del espacio a climatizar. Resulta de especial interés cuando dentro de las alternativas a evaluar se encuentran sistemas alternativos de climatización pasivos o cuasi pasivos, cuya potencia de enfriamiento está condicionada a una fuente de enfriamiento natural no mecánica, por lo que su eficiencia dependerá de las condiciones propias del proyecto y los requerimientos de climatización de la edificación.

Por lo tanto en lo que respecta a la aplicación de este indicador, si el sistema de climatización evaluado posee una fuente de enfriamiento mecánica regulada por un termostato (Sistema activo), se entiende que el 100% del tiempo estará dentro de la zona de confort térmico, por lo que se asignará la máxima puntuación de 100. Si por el contrario, el sistema de climatización a evaluar posee una fuente de enfriamiento natural no mecánica (Sistema pasivo), se recurre al cálculo de los grados-hora de malestar térmico mediante el planteamiento de neutralidad térmica del modelo de adaptación de la norma ASHRAE 55 para edificaciones en climatización pasiva (ASHRAE, 2004; De Dear y Brager. 2002), resumido en la siguiente expresión:

$$T_n = 17,8 + 0,31 T_{em}$$

Dónde:

T_n Es la temperatura de neutralidad o de confort.

Tem Es la temperatura media mensual del clima.

Como se plantea en la norma ASHRAE 55, para una aceptabilidad del 90% de los usuarios se deberá utilizar un rango de 2,5 °C por encima y por debajo de la temperatura de confort obtenida, estimando así la zona de confort.

Una vez calculada la zona de confort, los grados-hora de malestar térmico se obtienen de la sumatoria de los grados en que se sobrepasan estos umbrales en determinado lapso de tiempo, es decir, si el valor de la temperatura a una hora dada supera el umbral superior de la zona de confort, se obtiene una cantidad de grados-hora de malestar por calor igual a la resta entre ambos; si en cambio se encuentra por debajo del umbral inferior, se tiene una cantidad de grados-hora de malestar por frío igual a la resta entre ambos (negativo). Si la temperatura se encuentra en el rango de confort el valor no se contabiliza (se computa como cero).

Con base en lo anterior y en lo que respecta al caso de estudio, tanto la alternativa N° 1 como la N° 3 se basan en sistemas activos de climatización, por lo que obtienen automáticamente la puntuación máxima de 100, mientras la puntuación de la alternativa N° 2 depende del cálculo de los grados-hora de malestar térmico.

Ahora bien, con una temperatura de confort para el caso de estudio de 25,3 °C, y asumiendo el criterio de 2,5 °C por encima y por debajo de este valor según la norma ASHRAE 55, se obtiene una zona de confort comprendida entre 22,8 °C y 27,8 °C, por lo tanto, según los resultados documentados en el proyecto donde se indica que los rangos de temperatura obtenidos con la alternativa N° 2 se encuentran entre 23,1 °C y 24,9 °C, se concluye que esta alternativa no genera grados-hora de malestar térmico, por lo que se le asigna la máxima puntuación de 100 al igual que el resto de las alternativas estudiadas.

La normalización en el rango de 0 a 1 se realiza en este caso de acuerdo a la fórmula de normalización 2B, arrojando los siguientes resultados (Tabla N° 48):

	Alternativa N° 1	Alternativa N° 2	Alternativa N° 3
VALOR NORMALIZACIÓN	1,00	1,00	1,00

Tabla N° 48.- Valoración normalizada de alternativas según el indicador de confort higrotérmico. Fuente: Elaboración propia.

5.3.2.- Seguridad y salud

Para el análisis de este indicador se propone abordar tres ámbitos particulares: Primero en lo que se refiere a los trabajadores en obra (Mano de obra); en segundo lugar a la comunidad contigua al área de construcción y por último al usuario durante la etapa de funcionamiento (Wells, 2003).

Por lo general el momento de la construcción y/o instalación en obra es el más importante ya que los trabajadores en la construcción tienen entre tres y cuatro veces más probabilidad de morir por accidentes de trabajo que el resto de los trabajadores (López, 2001). Por lo tanto, con el propósito de establecer un criterio cuantitativo para el análisis de este indicador, se propone contabilizar el área de construcción y/o demolición propuesta en las partidas presupuestarias de cada alternativa evaluada, en el entendido de que mientras mayor sea el área, mayor será el riesgo de accidente en la etapa de construcción, obteniendo así los siguientes resultados (Tabla N° 49).

	Alternativa N° 1	Alternativa N° 2	Alternativa N° 3
ÁREA DE CONSTRUCCIÓN (m²)	64	728	2140

Tabla N° 49.- Estimación del área de construcción y/o demolición (m²) por alternativa estudiada. Fuente: Elaboración propia.

Igualmente se plantea tomar en consideración la inversión en seguridad y salud a través del número de estrategias propuestas, en el entendido que a mayor número de medidas de salud y seguridad sean implementadas menor será el riesgo.

Asimismo, la seguridad durante el uso de los sistemas de climatización es otro ámbito importante a considerar, el cual pudiera ser necesario abordar mediante estudios particulares de la tecnología de climatización seleccionada, en especial

cuando se plantee el uso de nuevas tecnologías, que por su carácter novedoso e innovador, pudieran no disponer de la información necesaria en cuanto a seguridad y salud de los usuarios.

En todo caso, para efectos del caso de estudio seleccionado todas las alternativas estudiadas tienen la misma puntuación en lo que respecta a los dos últimos ámbitos propuestos para este indicador, ya que no existe diferenciación documentada al respecto. Por lo tanto, la normalización de los valores anteriores de 0 a 1 utilizando la fórmula 3B, queda de la siguiente manera (Tabla N° 50).

	Alternativa N° 1	Alternativa N° 2	Alternativa N° 3
VALOR NORMALIZACIÓN	1,00	0,84	0,50

Tabla N° 50.- Valoración normalizada de alternativas según seguridad y salud. Fuente: Elaboración propia.

5.3.3.- Calidad del aire interior

Para la aplicación de este indicador a nivel de proyecto se recurre al cálculo de las renovaciones de aire, entendido este como la cantidad de aire fresco que es introducido a un espacio para retirar los posibles contaminantes en el interior, expresado en m^3/h .

En el caso de estudio se obtiene esta información de la documentación existente para cada una de las alternativas con los siguientes resultados (Tabla N° 51).

	Alternativa N° 1	Alternativa N° 2	Alternativa N° 3
RENOVACIÓN DE AIRE EXTERIOR (m^3/h)	1.350,00	2.380,00	1.350,00

Tabla N° 51.- Estimación de las renovaciones de aire exterior (m^3/h) por alternativa estudiada. Fuente: Elaboración propia.

La normalización de estos valores en la escala de 0 a 1 se realiza mediante la utilización de la fórmula 3B, obteniendo el siguiente resultado (Tabla N° 52).

	Alternativa N° 1	Alternativa N° 2	Alternativa N° 3
VALOR NORMALIZACIÓN	0,50	1,00	0,50

Tabla N° 52.- Valoración normalizada de alternativas según m³/h de aire exterior renovado en el espacio.
Fuente: Elaboración propia.

5.3.4.- Confort acústico

En el campo de la climatización de edificaciones el nivel de ruido y vibración en los espacios interiores es una variable común a considerar durante la etapa de funcionamiento de los equipos y/o sistemas, el objetivo de introducir este indicador desde la fase de diseño es prever su impacto en el confort de los usuarios.

Para la estimación de este indicador a nivel de proyecto se propone utilizar rangos de tolerancia estimados en base a la Norma Covenin 1565:1995 sobre ruido ocupacional, de la siguiente manera: Niveles hasta 45 *dB* se considerarán dentro de la zona de confort o bienestar; entre 46 *dB* y 84 *dB* se entenderán como ruidos molestos, y superiores a 85 *dB* como nocivos.

Para el caso de estudio, el análisis acústico se realizó basado en la documentación técnica suministrada por los fabricantes o diseñadores de cada tecnología propuesta, por lo que los resultados expresados a continuación en la Tabla N° 53 corresponde a la información disponible y documentada para cada alternativa estudiada.

	Alternativa N° 1	Alternativa N° 2	Alternativa N° 3
NIVEL DE RUIDO (dB)	60	25	60

Tabla N° 53.- Estimación del nivel de ruido (dB) por alternativa estudiada. Fuente: Elaboración propia.

La normalización de estos valores en la escala de 0 a 1 se realiza mediante la utilización de la fórmula 2B, obteniendo el siguiente resultado (Tabla N° 54).

	Alternativa N° 1	Alternativa N° 2	Alternativa N° 3
VALOR NORMALIZACIÓN	0,42	1,00	0,42

Tabla N° 54.- Valoración normalizada de alternativas según nivel de ruido dentro del recinto. Fuente: Elaboración propia.

5.3.5.- Participación y control

La participación ciudadana y control del proyecto puede analizarse desde dos ámbitos: el primero respecto a la participación directa de las comunidades en el proyecto, lo cual puede ser desde aportes para su concepción, hasta mano de obra en alguna de las fases del ciclo de vida. En una segunda instancia, este indicador puede aplicarse considerando los esfuerzos por difundir la existencia y objetivos del proyecto en las comunidades, de hecho, el acceso a la información del proyecto a través de páginas web y otros medios de difusión son considerados aspectos fundamentales en el logro de la sostenibilidad de los proyectos (Aguado et al, 2008).

En el caso de estudio ninguna de las alternativas consideró periodos de consulta abierta a las comunidades para la retroalimentación de las propuestas, a la vez que no consideraron su difusión pública en el entendido de que responde a un proyecto de capital privado, por lo que para el análisis de este indicador nos enfocamos en la estimación de la mano de obra local requerida para la construcción y/o instalación de cada uno de los sistemas.

Se recurre a una valoración subjetiva cuantificable mediante la estimación de la cantidad de mano de obra no especializada requerida respecto al total de trabajadores. Para este fin se toma como referencia los análisis de precios unitarios de las partidas presupuestarias en cada caso, obteniendo los siguientes resultados (Tabla N° 55).

	Alternativa N° 1	Alternativa N° 2	Alternativa N° 3
MANO DE OBRA LOCAL	15	29	42

Tabla N° 55.- Estimación de la cantidad de mano de obra local requerida por alternativa estudiada. Fuente: Elaboración propia.

La normalización en el rango de 0 a 1 se realiza en este caso de acuerdo a la fórmula de normalización 2A, arrojando los siguientes resultados (Tabla N° 56).

	Alternativa N° 1	Alternativa N° 2	Alternativa N° 3
VALOR NORMALIZACIÓN	0,36	0,69	1,00

Tabla N° 56.- Valoración normalizada de alternativas según nivel de ruido dentro del recinto. Fuente: Elaboración propia.

5.3.6.- Respeto al patrimonio histórico y cultural

Este indicador tiene como objetivo establecer el grado de adaptación del proyecto al entorno asumiendo las variables históricas y culturales. Se trata de un indicador cualitativo basado en el juicio de expertos o en posibles encuestas o entrevistas a la comunidad. Especial importancia adquiere este indicador cuando el proyecto está relacionado a una edificación patrimonial, histórica o de gran valor en la sociedad. La adopción de criterios de respeto a la cultura local desde las etapas tempranas permite una mayor integración del proyecto al entorno, permitiendo así una mayor aceptación social.

Su valoración es cualitativa con base en juicios de expertos, basados en análisis referentes al patrimonio histórico, artístico, costumbres y la estética del lugar. Cuanto mayor es la puntuación menor es el respeto de este indicador, por lo tanto, para su normalización en el rango de 0 a 1, se recurre a la fórmula 1B.

Sin embargo, en este caso práctico no se consideró en ninguna de las alternativas estudiadas las variables históricas y culturales, por lo tanto, con respecto a este indicador no se observa diferencia alguna entre las alternativas quedando los resultados para la valoración final de la siguiente manera (Tabla N° 57).

	Alternativa N° 1	Alternativa N° 2	Alternativa N° 3
VALOR NORMALIZACIÓN	0,50	0,50	0,50

Tabla N° 57.- Valoración normalizada de alternativas en cuanto al respeto del patrimonio histórico y cultural. Fuente: Elaboración propia.

5.3.7.- Responsabilidad social

Las estrategias de responsabilidad social en proyectos de climatización pueden ser muy variadas y disímiles entre sí. Pueden estar enfocadas en el adiestramiento de mano de obra, educación de las comunidades sobre determinado aspecto asociado al proyecto, esfuerzos por la disminución de los impactos ambientales, ayudas económicas, etc.

El objetivo de este indicador se centra en el interés que demuestra el proyecto por el entorno social y económico donde se desarrolla, así como la interacción con el conjunto de la sociedad. En definitiva es un criterio cualitativo desarrollado por expertos con base en las distintas estrategias que en esta índole se propongan dentro del proyecto.

A continuación se muestran las valoraciones cualitativas de este indicador asumidas por los expertos que participaron en el proyecto (Tabla N° 58). Una puntuación máxima de 10 representa el mayor interés social, mientras que 0 representa el menor interés.

	Alternativa N° 1	Alternativa N° 2	Alternativa N° 3
RESPONSABILIDAD SOCIAL (VALORACIÓN)	2,50	5,50	5,00

Tabla N° 58.- Valoración de la responsabilidad social de cada alternativa estudiada. Fuente: Elaboración propia.

La normalización mediante la fórmula 1A de los resultados anteriores en un rango de 0 a 1 resulta (Tabla N° 59):

	Alternativa N° 1	Alternativa N° 2	Alternativa N° 3
VALOR NORMALIZACIÓN	0,00	1,00	0,83

Tabla N° 59.- Valoración normalizada de alternativas según su responsabilidad social. Fuente: Elaboración propia.

5.4.- Aplicación de indicadores económicos

5.4.1.- Consumo de energía en ciclo de vida

La estimación del consumo de energía en cada una de las alternativas estudiadas se realizó utilizando el mismo procedimiento que para las emisiones de CO₂, tomando como referencia la información suministrada por la base de datos BEDEC del Instituto Tecnológico de la Construcción de Cataluña (ITeC, 2016), así como la suministrada por el proyecto (Anexo N° 4).

Se obtuvieron finalmente los valores totales estimados para cada alternativa representados en *kWh* (Tabla N° 60).

	Alternativa N° 1	Alternativa N° 2	Alternativa N° 3
ENERGÍA TOTAL (<i>kWh</i>)	13.461.065,90	567.671,71	8.514.074,69

Tabla N° 60.- Consumo total de energía (*kWh*) por alternativa estudiada. Fuente: Elaboración propia

Al normalizar los resultados en un rango de 0 a 1 mediante la utilización de la fórmula 3B, se obtuvieron los siguientes resultados (Tabla N° 61).

	Alternativa N° 1	Alternativa N° 2	Alternativa N° 3
VALOR NORMALIZACIÓN	0,5	1,00	0,69

Tabla N° 61.- Valoración normalizada de alternativas según consumo de energía. Fuente: Elaboración propia.

5.4.2.- Transporte

Este indicador es utilizado con gran frecuencia en la evaluación de la sostenibilidad tanto en edificaciones como en otras áreas. Su importancia radica en el elevado consumo de combustibles fósiles asociado al uso de los principales medios de transporte.

Para el campo específico de los proyectos de climatización se propone su uso mediante el cálculo de la distancia que existe entre la obra y el lugar de fabricación de los principales equipos y/o componentes considerados en el proyecto. Sin

embargo, debido a que mayor será el impacto mientras más lejano sea el origen del producto, para la aplicación de este indicador se asume la siguiente consideración:

Si el material, componente, equipo, etc. Requiere un transporte hasta la obra no mayor a 700 km, obtiene una puntuación de cero (0). Entre 700 Km y 3000 Km, obtiene una puntuación de uno (1). Entre 3000 y 6000 Km, obtiene una puntuación de dos (2). Y para distancias mayores a 6000 Km, se puntuará con tres (3).

Con base en lo anterior, para el caso de estudio se utilizaron las partidas presupuestarias de cada alternativa estudiada con el fin de estimar su impacto referente al transporte. Las puntuaciones obtenidas en cada una de las partidas presupuestarias se sumaron para arrojar el total de cada alternativa como se muestra en la tabla N° 62.

	Alternativa N° 1	Alternativa N° 2	Alternativa N° 3
DISTANCIA POR TRANSPORTE	3	1	3

Tabla N° 62.- Puntuación correspondiente al transporte asociado a cada alternativa estudiada. Fuente: Elaboración propia.

La normalización de estos valores en la escala de 0 a 1 se realiza mediante la utilización de la fórmula 2B, obteniendo el siguiente resultado (Tabla N° 63).

	Alternativa N° 1	Alternativa N° 2	Alternativa N° 3
VALOR NORMALIZACIÓN	0,33	1,00	0,33

Tabla N° 63.- Valoración normalizada de alternativas según distancia de transporte. Fuente: Elaboración propia.

5.4.3.- Costo del ciclo de vida

Este indicador es de gran importancia en la evaluación de la sostenibilidad en los proyectos, como en efecto se destaca en la norma ISO 21929 (2011). Se compone de la inversión inicial, el mantenimiento, la demolición y si existieran ingresos por explotación, que en este caso no aplica. Por lo tanto, al considerar una vida de útil de 15 años para cada una de las alternativas se pudo incluir en el análisis los costos

por mantenimiento y disposición final (Anexo N° 6). Siendo el costo estimado global para cada una de las alternativas estudiadas el siguiente (Tabla N° 64).

	Alternativa N° 1	Alternativa N° 2	Alternativa N° 3
COSTO GLOBAL USD (\$)	54.928,71	70.769,34	160.678,00

Tabla N° 64.- Costo global (Ciclo de vida) por alternativa estudiada. Fuente: Elaboración propia con información del proyecto.

Al normalizar en un rango de 0 a 1 mediante la utilización de la fórmula 3B se obtuvieron los siguientes resultados (Tabla N° 65).

	Alternativa N° 1	Alternativa N° 2	Alternativa N° 3
VALOR NORMALIZACIÓN	1,00	0,93	0,50

Tabla N° 65.- Valoración normalizada de alternativas según consumo de energía. Fuente: Elaboración propia.

5.4.4.- Acreditación / Certificación de calidad

El objetivo de este indicador es valorar si el proyecto contempla el uso de equipos, materiales o procesos certificados por alguna institución reconocida, de manera que demuestren mayor calidad, menor impacto o mayor eficiencia en comparación con los equipos, materiales o procesos tradicionales, según sea el caso.

A mayor cantidad de certificaciones posea el proyecto mejor valorado estará este indicador, por lo que para su normalización de 0 a 1 para efecto de su valoración final se deberá utilizar la fórmula 2A.

Sin embargo, a nivel del caso de estudio no se consideró en ninguna de las alternativas estudiadas la utilización de equipos, materiales y/o procesos certificados, por lo que no se observa diferencia alguna de este indicador entre las alternativas quedando los resultados para la valoración final de la siguiente manera (Tabla N° 66).

	Alternativa N° 1	Alternativa N° 2	Alternativa N° 3
VALOR NORMALIZACIÓN	0,50	0,50	0,50

Tabla N° 66.- Valoración normalizada de alternativas respecto acreditación y/o certificación de calidad. Fuente: Elaboración propia.

5.4.5.- Vulnerabilidad ante desastres naturales

Este indicador se fundamenta en estudios referentes a la proximidad del proyecto a zonas inundables o cercanas a la costa, así como estudios de vulnerabilidad ante terremotos, tornados, deslaves, etc. Es de gran utilidad para este análisis disponer de mapas de vulnerabilidad y riesgo del territorio adyacente al proyecto, así como contar con los estudios completos de impacto ambiental.

En lo que respecta al caso de aplicación no se dispone de ningún estudio ni información referente a la vulnerabilidad ante desastres naturales, por lo tanto, no se observa diferencia alguna de este indicador entre las alternativas quedando los resultados para la valoración final de la siguiente manera (Tabla N° 67).

	Alternativa N° 1	Alternativa N° 2	Alternativa N° 3
VALOR NORMALIZACIÓN	0,50	0,50	0,50

Tabla N° 67.- Valoración normalizada de alternativas respecto a la vulnerabilidad ante desastres naturales. Fuente: Elaboración propia.

5.4.6.- Vulnerabilidad ante el cambio climático

Este indicador es novedoso e inusual en la mayoría de los sistemas de evaluación y certificación de edificaciones. No obstante, surge de la necesidad de adaptación de las distintas actividades humanas a los cambios que espera se generen por efecto del cambio climático (IPCC, 2007a y b).

Para la aplicación de este indicador se recurre a la opinión de expertos, y se sustenta con estudios que analicen los posibles efectos del cambio climático en las zonas de

influencia del proyecto, así como el análisis propio de cada tecnología de climatización propuesta.

En lo que respecta al caso de aplicación no se dispone de estudios ni información referente a las implicaciones del cambio climático en el proyecto. Sin embargo, se consultó a los expertos que participaron en su elaboración con el fin de que valoraran la vulnerabilidad de la tecnología propuesta en cada alternativa ante los posibles cambios climáticos (Tabla N° 68). Una puntuación máxima de 10 representa la mayor vulnerabilidad, mientras que 0 representa la menor.

	Alternativa N° 1	Alternativa N° 2	Alternativa N° 3
VULNERABILIDAD CAMBIO CLIMÁTICO	1,00	7,00	3,00

Tabla N° 68.- Puntuación correspondiente a la vulnerabilidad por cambio climático de cada alternativa estudiada. Fuente: Elaboración propia.

La normalización de los resultados anteriores en un rango de 0 a 1 mediante la aplicación de fórmula 1B se muestra a continuación (Tabla N° 69).

	Alternativa N° 1	Alternativa N° 2	Alternativa N° 3
VALOR NORMALIZACIÓN	1,00	0,00	0,67

Tabla N° 69.- Valoración normalizada de alternativas según su vulnerabilidad ante el cambio climático. Fuente: Elaboración propia.

5.4.7.- Previsión para la deconstrucción

El diseño que incorpore la deconstrucción al finalizar el ciclo de vida es algo poco común en los proyectos de climatización. Para ello sería fundamental contar desde el inicio con equipos multidisciplinarios de expertos en demolición, deconstrucción o rehabilitación de infraestructuras que permitan la concepción del proyecto tomando en consideración el fin de su vida útil, así como posibles modificaciones y/o cambios de uso.

La consideración de este criterio dentro de la toma de decisiones permite disponer de una visión integral del proyecto, no sólo respecto a la fase de construcción, sino

también en lo que respecta a su flexibilidad y adaptabilidad ante posibles modificaciones futuras.

En el caso de estudio no existen datos ni información respecto a este indicador en ninguna de las alternativas propuestas, por lo que se califican todas las alternativas con la misma puntuación respecto a este criterio, quedando los resultados para la valoración final de la siguiente manera (Tabla N° 70).

	Alternativa N° 1	Alternativa N° 2	Alternativa N° 3
VALOR NORMALIZACIÓN	0,50	0,50	0,50

Tabla N° 70.- Valoración normalizada de alternativas respecto a la previsión para la deconstrucción. Fuente: Elaboración propia.

5.3.- Resultados

El resultado de la valoración normalizada en el rango de 0 a 1 con los pesos parciales y totales de cada uno de los indicadores aplicados al caso de estudio se muestra en la tabla N° 71.

Pilares	Peso	Macro-Indicadores	Alternativa N° 1 (NORMALIZACIÓN)	Alternativa N° 2 (NORMALIZACIÓN)	Alternativa N° 3 (NORMALIZACIÓN)	Max. Puntuación posible	Peso del criterio
Ambiental	0,337	1.1.- Emisiones de CO2	0,50	1,00	0,69	1,00	0,061
		1.2.- Materiales y/o sustancias peligrosas	1,00	0,50	0,72	1,00	0,054
		1.3.- Huella Ecológica	0,50	1,00	0,68	1,00	0,049
		1.4.- Consumo de materiales	1,00	0,94	0,50	1,00	0,045
		1.5.- Uso de energías renovables	0,50	0,50	0,50	1,00	0,045
		1.6.- Generación de residuos	1,00	0,57	0,14	1,00	0,042
		1.7.- Consumo de agua	1,00	0,29	0,01	1,00	0,041
Social	0,315	2.1.- Confort higrotérmico	1,00	1,00	1,00	1,00	0,054
		2.2.- Seguridad y salud	1,00	0,84	0,50	1,00	0,052
		2.3.- Calidad del aire interior	0,50	1,00	0,50	1,00	0,052
		2.4.- Confort acústico	0,42	1,00	0,42	1,00	0,043
		2.5.- Participación y control	0,36	0,69	1,00	1,00	0,040
		2.6.- Respeto al patrimonio histórico y cultural	0,50	0,50	0,50	1,00	0,038
		2.7.- Responsabilidad social	0,00	1,00	0,83	1,00	0,037
Económico	0,347	3.1.- Consumo de energía en ciclo de vida	0,50	1,00	0,69	1,00	0,066
		3.2.- Transporte	0,33	1,00	0,33	1,00	0,054
		3.3.- Costo del ciclo de vida	1,00	0,93	0,50	1,00	0,051
		3.4.- Acreditación / Certificación de calidad	0,50	0,50	0,50	1,00	0,048
		3.5.- Vulnerabilidad ante desastres naturales	0,50	0,50	0,50	1,00	0,044
		3.6.- Vulnerabilidad ante el cambio climático	1,00	0,00	0,67	1,00	0,043
		3.7.- Previsión para la deconstrucción	0,50	0,50	0,50	1,00	0,042

Tabla N° 71.- Síntesis de resultados normalizados producto de la aplicación del sistema de indicadores al caso de estudio. Fuente: Elaboración propia.

Una vez obtenidos estos resultados se continúa con la aplicación del algoritmo PRES como se detalla en la metodología propuesta. Se inicia con el desarrollo de una matriz decisional con los pesos de cada indicador junto a la valoración normalizada para cada alternativa (Tabla N° 72).

	1.1.- Emisiones de CO2	1.2.- Materiales y/o sustancias peligrosas	1.3.- Huella Ecológica	1.4.- Consumo de materiales	1.5.- Uso de energías renovables	1.6.- Generación de residuos	1.7.- Consumo de agua	2.1.- Confort higrotérmico	2.2.- Seguridad y salud	2.3.- Calidad del aire interior	2.4.- Confort acústico	2.5.- Participación y control	2.6.- Respeto al patrimonio histórico y cultural	2.7.- Responsabilidad social	3.1.- Consumo de energía en ciclo de vida	3.2.- Transporte	3.3.- Costo del ciclo de vida	3.4.- Acreditación / Certificación de calidad	3.5.- Vulnerabilidad ante desastres naturales	3.6.- Vulnerabilidad ante el cambio climático	3.7.- Previsión para la deconstrucción
Alternativa 1	0,061	0,054	0,049	0,045	0,045	0,042	0,041	0,054	0,052	0,052	0,043	0,040	0,038	0,037	0,066	0,054	0,051	0,048	0,044	0,043	0,042
Alternativa 2	0,061	0,054	0,049	0,045	0,045	0,042	0,041	0,054	0,052	0,052	0,043	0,040	0,038	0,037	0,066	0,054	0,051	0,048	0,044	0,043	0,042
Alternativa 3	0,061	0,054	0,049	0,045	0,045	0,042	0,041	0,054	0,052	0,052	0,043	0,040	0,038	0,037	0,066	0,054	0,051	0,048	0,044	0,043	0,042

Tabla N° 72.- Matriz decisional. Fuente: Elaboración propia.

En segunda instancia se desarrolla una matriz de dominación para cada indicador comparando cada alternativa con las demás, siendo el valor de cada elemento de la matriz el resultado de la suma de las diferencias entre cada valoración normalizada, multiplicada por el peso de cada criterio.

El valor correspondiente a cada posición de la matriz de dominación representa hasta qué punto la alternativa i domina o es preferida respecto a la alternativa j . Los valores de las distintas filas representan hasta qué punto la alternativa de esa fila domina a las demás. Del mismo modo los valores de una columna indican hasta qué punto la alternativa de esa columna es dominada por las demás alternativas. Se entiende que la alternativa i domina a la j para un criterio k , si la diferencia de valor de i y de j para el criterio k es positiva.

Finalmente se suma el resultado de cada matriz obtenida para cada indicador evaluado con el fin de generar la matriz de dominación definitiva. Una vez generada esta matriz se calculan para cada alternativa tres valores. El valor D_i , que se obtiene de la suma de todos los valores de la fila i . El valor d_i que se obtiene de la suma de todos los valores de la columna i . Y el Índice PRES que se obtiene de la división entre D_i y d_i , mostrando la proporción con que la alternativa i domina al resto de alternativas (Tabla N° 73).

	A1	A2	A3	D	I
A1	0	0,132	0,181	0,312	0,996
A2	0,225	0	0,238	0,463	2,506
A3	0,089	0,053	0	0,142	0,339
d	0,314	0,185	0,418		

Tabla N° 73.- Matriz de dominación con Índice PRES. Fuente: Elaboración propia.

En esta matriz se muestra la dominación de la alternativa 2 sobre el resto, con un índice dos veces y media mayor que la alternativa 1 y casi siete veces superior a la alternativa 3. Por lo tanto, en este caso de estudio se evidencia claramente que la alternativa N° 2 es muy superior al resto en lo que se refiere a la sostenibilidad.

Al generar un esquema simplificado con las alternativas estudiadas y el índice de dominación logrado en cada caso, se obtiene una herramienta sencilla y útil a utilizar por el equipo encargado de la toma de decisiones, con miras en facilitar la selección

de la alternativa de climatización definitiva en lo que respecta al desarrollo sostenible (Tabla N° 74).

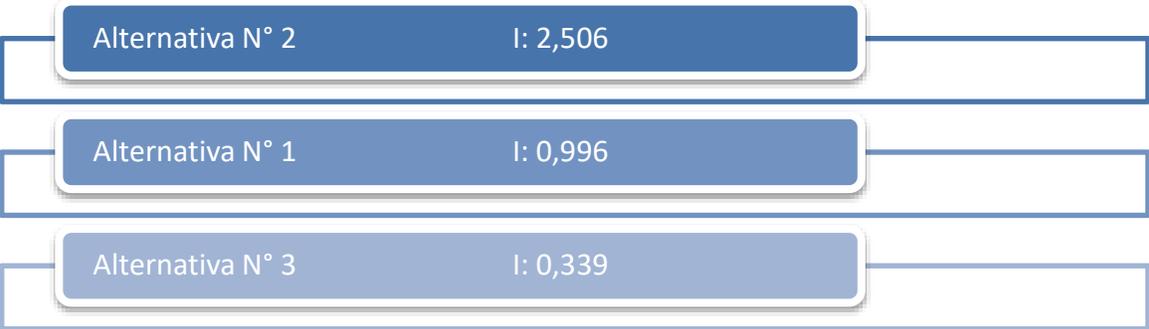


Tabla N° 74.- Esquema de dominación de las alternativas estudiadas. Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, tomando en consideración el resultado obtenido por cada alternativa según los pilares del desarrollo sostenible (Anexo N° 7), se realiza una representación gráfica de gran utilidad para facilitar la toma de decisiones (Figura N° 48). En ella se evidencia que la alternativa N° 2 también es superior al resto en lo que respecta a los pilares de la sostenibilidad, a la vez que posee un mayor equilibrio entre ellos.

Valoración - Pilares de Sostenibilidad

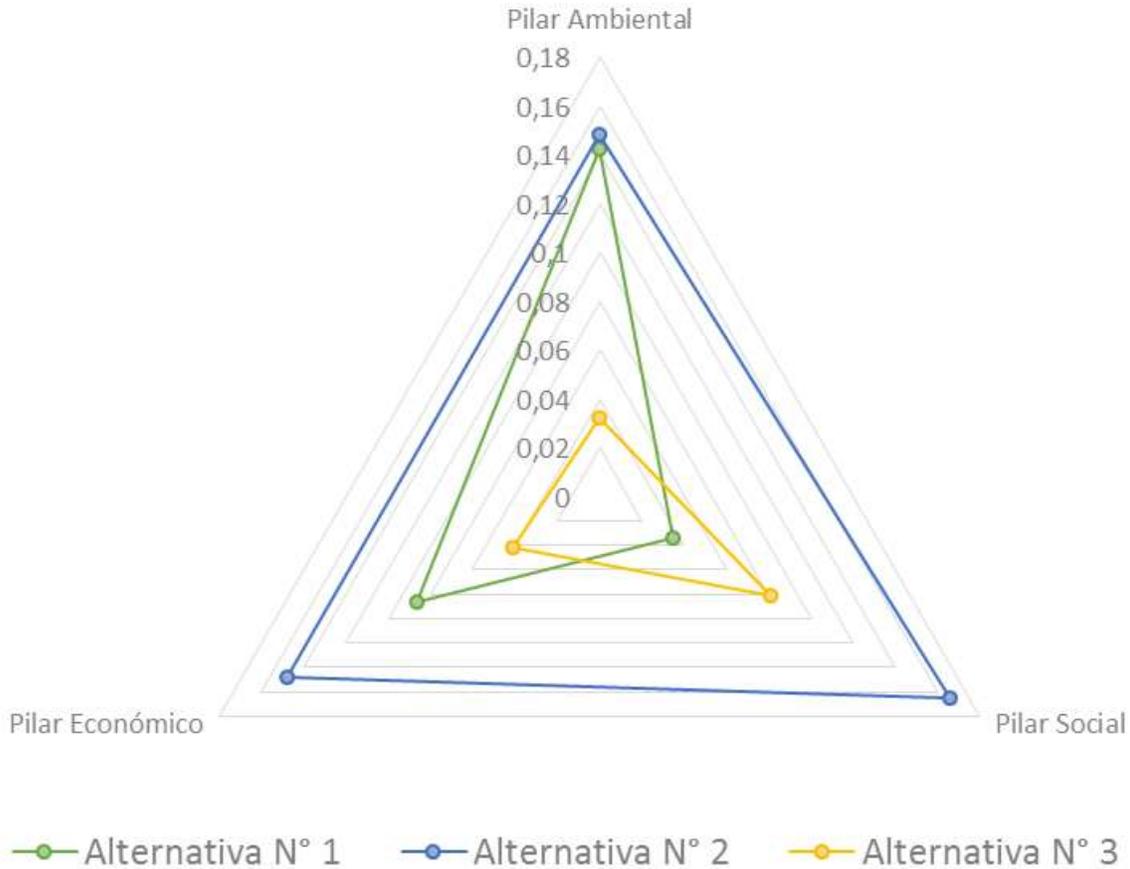


Figura N° 48.- Valoración de cada alternativa según pilares del desarrollo sostenible. Fuente: Elaboración propia.

Se hace necesario señalar que la aplicación de este sistema de indicadores en proyectos de climatización no siempre arrojará como resultado una alternativa óptima respecto a todos los indicadores, tal y como se pudo observar en el caso de las alternativas N° 1 y N° 3. Por lo tanto, se entenderá que la solución más positiva será aquella que más se acerque a la solución óptima según los pesos atribuidos y que a su vez posea el mayor equilibrio entre todos los pilares del desarrollo sostenible.

Dependiendo de las preferencias del promotor y de posibles nuevos requisitos y exigencias que vayan surgiendo en el campo de la climatización de edificaciones desde el punto de vista de la sostenibilidad, podrán cambiar alguno de los criterios

acá evaluados, arrojando finalmente nuevos elementos que complementen la toma de decisiones.

A pesar de que eventualmente no se disponga de información para la aplicación de algún indicador en el caso de estudio, como en efecto ocurrió con algunos de los indicadores, el optar por valorarlos de igual modo para todas las alternativas permite adaptarse a la realidad de algunos proyectos de climatización sin perjudicar el resto del estudio. Sin embargo, lo que se quiere es disponer de toda la información requerida para la correcta aplicación de los indicadores en los proyectos, la cual es factible de recabar dentro del contexto venezolano siempre y cuando se disponga de un equipo multidisciplinario abocado a dicho fin.

Finalmente, en el próximo capítulo se discuten las debilidades y amenazas encontradas durante el proceso de aplicación, así como los puntos fuertes y oportunidades futuras de mejora. También se incluirán las conclusiones de este caso de estudio, del conjunto de indicadores y de la aplicación de la metodología propuesta.

CAPITULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Este último capítulo tiene como finalidad presentar algunas conclusiones, reflexiones y recomendaciones respecto a la metodología propuesta y su aplicación en el campo de la climatización de edificaciones. Se abarca desde la identificación, priorización y selección de indicadores de sostenibilidad hasta llegar a su aplicación en el caso de estudio seleccionado, con el fin de comprobar la viabilidad y analizar las debilidades y fortalezas encontradas.

Asimismo se destaca los aportes de la investigación al conocimiento, y la generación de posibles nuevas líneas de investigación asociadas.

6.1.- Respecto a la metodología propuesta

En la primera etapa correspondiente a la identificación de indicadores de sostenibilidad donde se aplicaron distintas técnicas independientes entre sí (Revisión de documentación, recopilación de información, análisis de tecnologías de climatización y estudio de otras áreas y herramientas) destaca la gran cantidad de tiempo y dedicación que amerita para su correcto desarrollo. Sin embargo, la recopilación de las distintas opiniones de los grupos y sectores involucrados en el campo de la climatización de edificaciones, a pesar de sus resultados tan disímiles conlleva a una fiabilidad muy alta.

La fiabilidad alta se fundamenta precisamente en el uso integral de todas las técnicas para la recopilación de indicadores, lo que propicia la disminución de errores, a diferencia que cuando se emplean de manera aislada una o dos de ellas.

Al agrupar el total de indicadores seleccionados y realizar la primera priorización se observó una gran cantidad que no son necesariamente relevantes y/o no se adaptan al contexto donde se pretende su aplicación, por lo que recurrir a una segunda decantación mediante la aplicación de la matriz de selección propuesta por la Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2007) resultó ser de gran utilidad. Sin embargo, la matriz utilizada finalmente para la comparación por pares estaba compuesta aún por muchos indicadores, lo que complejizó las valoraciones de expertos. Ahora bien, a pesar de que esto pudiera solventarse con una primera priorización más exhaustiva, ocasionaría una mayor carga de subjetividad al ser el investigador el que prioriza y elimina los indicadores antes de someterlos al juicio de expertos, aspecto que se procuró reducir como fundamento del planteamiento metodológico.

Finalmente, la selección del grupo final de 21 indicadores mediante el principio de Pareto (80 % de la sostenibilidad en el 20 % de los indicadores), permitió reducir el universo hasta aquellos que mayor influencia tienen en la sostenibilidad dentro del campo de la climatización de edificaciones, y facilitando su manejabilidad.

En definitiva se puede afirmar que esta metodología constituye una propuesta hacia la estandarización en la identificación y selección de indicadores de sostenibilidad en el campo de la climatización de edificaciones, a la vez que es potencialmente aplicable a otras áreas. Asimismo, considerando la revisión de la documentación científica y la legislación aplicable, la propuesta metodológica permite obtener, por un lado el desarrollo de indicadores de sostenibilidad ajustado a los lineamientos y experiencia internacional; y por otro lado mediante el estudio de la normativa nacional y las investigaciones locales se permite la relación de los indicadores con las condiciones y experiencia del país de aplicación.

6.2.- Respecto al caso de estudio

El sistema de indicadores propuesto se desarrolló con la finalidad de que pudiera ser aplicado desde la concepción del proyecto y no como una herramienta de certificación posterior, esto con la finalidad de que su aplicación permita identificar las alternativas más sostenibles como ayuda a la toma de decisiones. Aplicar estos indicadores cuando el proyecto ya está en proceso de construcción y/o instalación sólo permite optimizar una solución dada, por lo que se recomienda su aplicación integral desde la planificación y el diseño de las alternativas, de manera que se propicie la optimización de cada una de ellas desde su concepción, pues es ahí donde existe mayor capacidad de cambio por parte de los involucrados, y a los costos más bajos.

Aunque los indicadores traten de seleccionar la mejor alternativa según su impacto sobre el ambiente, la sociedad y la economía, es posible además utilizarlos para la correcta gestión del proyecto en su ciclo de vida, el control y la optimización de las soluciones, además de para realizar posibles escenarios variando únicamente algunos de los criterios. En este sentido, la aplicación del grupo de indicadores al caso de estudio se pudiera entender como un análisis preliminar que pudiera ser continuado en la fase de proyecto, construcción, uso y demolición, con el fin de hacerle seguimiento a cada indicador verificando su cumplimiento, e incluso realizando una cuantificación más exacta a lo largo del tiempo.

En definitiva, tras la aplicación del grupo de indicadores al caso de estudio, algunos aspectos se han considerado importantes para su discusión.

En primera instancia destaca que como se constató en el estado del arte, a pesar de la existencia de nuevas tecnologías de climatización denominadas pasivas o cuasi pasivas como respuesta a la necesidad del logro de la sostenibilidad en las edificaciones, no se encontró evidencia documentada que demostrara que en efecto contribuyen a la sostenibilidad, y en qué medida, por lo que su evaluación mediante el caso de estudio seleccionado se convierte por sí solo en un aporte de gran interés para las líneas de investigación donde se inscribe el proyecto.

También resalta el hecho que 16 de los 21 indicadores propuestos pudieron ser aplicados con la información disponible tradicionalmente en los proyectos de climatización, por lo que no amerita realizar un esfuerzo mucho mayor por compilar la información requerida para la correcta aplicación del grupo de indicadores por parte de los promotores, salvo el caso de estudios no considerados usualmente como puede ser la vulnerabilidad ante desastres naturales, vulnerabilidad ante el cambio climático, previsión para la deconstrucción, certificación de calidad, y respeto al patrimonio histórico y cultura. De resto, al contar con los estudios completos de análisis de costos, cálculo y dimensionado de los sistemas de climatización, y la evaluación de impacto ambiental de cada proyecto, debería ser suficiente.

Sin embargo, se han identificado una serie de limitaciones en la aplicación de algunos indicadores, especialmente cuando estos contemplan todo el ciclo de vida del proyecto. Así, por ejemplo, el cálculo de las emisiones de CO₂, la generación de residuos, el consumo de materiales o el consumo energético, requieren propuestas de mantenimiento y uso para cada alternativa, lo que supone en ocasiones una auténtica limitación. El hecho de analizar estos indicadores sólo en alguna de sus etapas del ciclo de vida hace que los resultados alcanzados deban ser tratados con cautela, pues se puede llegar a conclusiones equivocadas. Se subraya, por tanto, la necesidad de trabajar en el desarrollo de bases de datos nacionales que incorporen el análisis del ciclo de vida de los procesos, actividades y materiales asociados a este tipo de proyectos, como apoyo para una evaluación más exacta y fiable de estos indicadores así como su simplificación. Sería necesario, por tanto, una mayor relación y colaboración entre las empresas que se dedican al diseño y ejecución de estos proyectos y los centros de investigación dedicados a este campo, para lograr un mayor desarrollo de este tipo de herramientas de manera que sea más sencillo, útil y aplicable a aquellos que finalmente desarrollan y ejecutan los proyectos.

Con base en lo anterior, en la Tabla N° 75 se presentan los indicadores que pudieron calcularse y/o estimarse en cada etapa, partiendo de la información que tradicionalmente se dispone en los proyectos de climatización. Aquellos que se

colocan sombreados indican que con la información tradicional resultan posibles de calcular o, cuanto menos, de estimar cualitativa o cuantitativamente (según el caso) y que por tanto se pueden añadir como criterios de decisión. Sin embargo, como se puede observar, todavía quedan algunos espacios vacíos que indican que usualmente no se cuenta con el desarrollo por parte de los proyectos o por parte de los propios indicadores para poder analizar los mismos en su ciclo de vida. Esto ocurre más evidentemente durante la etapa de mantenimiento y fin de la vida útil, lo que se puede atribuir al hecho que en las fases iniciales del diseño de los proyectos de climatización no se tiene una concepción estratégica de gestión del proyecto durante la vida útil de la infraestructura con el objetivo de contemplar desde etapas iniciales, criterios más allá de la ejecución de la obra.

Dimensiones	Macro-indicador	Etapas consideradas en el macro-indicador				
		Planificación / diseño	Construcción / instalación	Uso	Mantenimiento	Fin de vida útil
1. Ambiental	1.1.- Emisiones de CO2	-	x	x	x	x
	1.2.- Materiales y/o sustancias peligrosas	-	x	x	x	x
	1.3.- Huella Ecológica	-	x	x	x	x
	1.4.- Consumo de materiales	-	x	-	x	-
	1.5.- Uso de energías renovables	-	x	x	x	x
	1.6.- Generación de residuos	-	x	x	x	x
	1.7.- Consumo de agua	-	x	x	x	x
2. Social	2.1.- Confort higrotérmico	-	-	x	-	-
	2.2.- Seguridad y salud	x	x	x	x	x
	2.3.- Calidad del aire interior	-	-	x	x	-
	2.4.- Confort acústico	-	-	x	-	-
	2.5.- Participación y control	x	x	x	x	x
	2.6.- Respeto al patrimonio histórico y cultural	x	x	x	x	-
	2.7.- Responsabilidad social	-	x	-	-	-
3. Económico	3.1.- Consumo de energía en ciclo de vida	-	x	x	x	x
	3.2.- Transporte	-	x	-	x	x
	3.3.- Costo del ciclo de vida	x	x	x	x	x
	3.4.- Acreditación / Certificación de calidad	x	x	-	x	x
	3.5.- Vulnerabilidad ante desastres naturales	-	x	x	-	-
	3.6.- Vulnerabilidad ante el cambio climático	-	-	x	-	-
	3.7.- Previsión para la deconstrucción	x	-	-	-	x
Sin Información Disponible		2	2	2	8	5

Tabla N° 75.- Indicadores considerados para la evaluación, según información disponible en el proyecto.
Fuente: Elaboración propia.

Se han analizado también los métodos existentes para la integración de los diferentes criterios para la valoración de la sostenibilidad, los posibles modos de representación así como las corrientes existentes para su aplicación. De este modo, se seleccionó el análisis multicriterio con una valoración final numérica debido a que no se busca una certificación de un proyecto sino una evaluación de la sostenibilidad de diferentes alternativas, su comparación y selección de aquella que cumpla con el mayor número de criterios.

Para el caso de estudio se seleccionó el método PRES II Multiexperto basado en el algoritmo PRES, por su confiabilidad y simplicidad en casos donde el análisis de opciones es complejo por el número de alternativas a evaluar. Sin embargo, en aquellos casos en el que los juicios a realizar no resulten excesivos por contar con un menor número de opciones a evaluar, se recomienda utilizar el proceso analítico jerárquico (AHP) como método de evaluación por su mayor precisión y rapidez.

Por último, cabe destacar que con el fin de facilitar la aplicación de este modelo de evaluación sostenible en los proyectos de climatización en la práctica profesional, es necesario sobre todo por parte de los fabricantes, proyectistas y promotores, el conocimiento de los nuevos indicadores emergentes identificados durante la investigación, siendo acá donde los centros de investigación y las universidades adquieren un rol activo al ser las idóneas en el desarrollo de aquellos indicadores, que en ocasiones, su evaluación o cuantificación no es todavía totalmente fiable o no existe la información necesaria, hasta finalmente llevar a cabo la transferencia del conocimiento, en pro de facilitar su posterior evaluación.

6.3.- Respecto a los objetivos alcanzados

El propósito fundamental de la tesis doctoral de desarrollar una metodología para la evaluación de proyectos de climatización dentro del marco de la sostenibilidad. Fundamentada ésta en la conceptualización y diseño de un modelo que integre indicadores de sostenibilidad específicos para el campo de la climatización de edificaciones fue alcanzado.

Este proceso consideró un amplio estudio y análisis del marco conceptual, identificado los modelos y herramientas existentes de evaluación sostenible como ayuda a la toma de decisiones en el campo de la climatización de edificaciones, así como el análisis de la problemática y vacíos existentes. Además se han estudiado y analizado los estándares existentes, así como los métodos de integración de valores para la valoración de la sostenibilidad como ayuda en la toma de decisiones.

Asimismo entre uno de los principales aportes de la investigación destaca el desarrollo de una metodología científica clara y precisa para la identificación, selección y priorización de indicadores de sostenibilidad en el sector de la climatización de edificaciones. El uso de distintas técnicas de identificación de indicadores, a pesar de demandar un tiempo significativo para su desarrollo, ha permitido aumentar la fiabilidad en cuanto a la identificación de todas las posibles oportunidades con base en distintos puntos de vistas, generando finalmente un banco de indicadores potenciales.

Al ajustar el total de indicadores identificados al marco de trabajo del estándar ISO 21929 y proceder a su agrupación en macro-indicadores, se obtiene finalmente un grupo de 21 indicadores finales caracterizados por ser los más influyentes tras la comparación por pares (Utilizando el método AHP), logrando a su vez un gran equilibrio entre el área ambiental, social y económica correspondiente a los pilares del desarrollo sostenible. Asimismo se ha logrado establecer unos criterios precisos y tangibles para su evaluación, en pro de responder a las posibles limitantes asociadas al contexto venezolano.

Otro objetivo alcanzado radica en la propuesta de un modelo de análisis basado en indicadores para la valoración de la sostenibilidad de las diferentes alternativas de un proyecto de climatización de edificaciones, con base en el algoritmo PRES como ayuda para la toma de decisiones respecto a la sostenibilidad, logrando su validación mediante su aplicación en un caso de estudio, lo que permitió analizar sus debilidades y fortalezas. Si bien es cierto que aún pueden existir algunos vacíos en la aplicación de algunos indicadores emergentes como se indicó anteriormente por no disponer de la información, se considera factible su compilación y aplicación sin

acarrear costos significativos a los proyectos de climatización de edificaciones dentro del contexto venezolano, comportándose como una herramienta sencilla y eficaz para la toma de decisiones.

Sin embargo, se entiende que la presente Tesis Doctoral queda como una primera aproximación a la climatización sostenible de edificaciones en Venezuela, con las fortalezas y debilidades comentadas. Se plantean por tanto futuros desarrollos tanto en este sector como en otros en relación a estas líneas de investigación, que se pasan a comentar en el siguiente epígrafe.

6.4.- Respecto a líneas de investigación futuras

De acuerdo a las discusiones y conclusiones expuestas anteriormente, se evidencia la necesidad de atender nuevas líneas de investigación que permitan enriquecer la propuesta metodológica aquí formulada, así como evaluar otras alternativas que conlleven a la generación de nuevo conocimiento.

En este sentido se vislumbran varias posibles investigaciones que se indican a continuación.

Se plantea como complemento a la presente tesis, desarrollar un sistema de evaluación de la sostenibilidad para alcanzar la certificación de proyectos de climatización, por medio del establecimiento de rangos entre los que puede variar un proyecto de una tipología dada (lo mínimo aceptable y lo máximo alcanzable) para poder valorar cada proyecto según unos estándares semejantes. Es decir, ya no se plantea comparar soluciones dentro de un proyecto, sino proyectos entre sí, de acuerdo a tipologías y parámetros relativos a cada tipo o caso.

También se ha identificado la necesidad de establecer rangos plausibles (sensibilidad, holguras) en los distintos indicadores, teniendo en cuenta los aspectos locales. En el trabajo ya se han propuesto valores iniciales en algunos de los indicadores a modo de propuesta. Sin embargo, es preciso profundizar aún más en el tema.

La creación de una base de datos nacional que incorpore el análisis del ciclo de vida de los procesos, actividades y materiales asociados a los proyectos de climatización de edificaciones, puede resultar un valor añadido fundamental para una evaluación más exacta y fiable de los indicadores.

Por otro lado, la aplicación práctica del modelo de evaluación sostenible a un proyecto real sería una línea de investigación de gran interés, con la posibilidad de lograr un control real de los indicadores en el tiempo, comprobar las desviaciones de las estimaciones iniciales y su fiabilidad. Es decir, la superación del plano teórico de mediciones en los procesos de toma de decisiones para lograr conocer los valores reales de cada criterio y así estimar el grado de incertidumbre con el que se trabaja en las evaluaciones de sostenibilidad.

Por último, se considera de gran interés enriquecer las líneas de investigación referidas al desarrollo de tecnologías de climatización, mediante la aplicación del modelo propuesto para realizar evaluaciones entre proyectos donde se planteen el uso de distintas tecnologías.

Finalmente, son numerosas las posibilidades que se abren respecto al tema central de la investigación, que en definitiva servirán de enriquecimiento de la tesis y de la línea de investigación que lo sustenta.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

Adalberth, K., Almgren, A., y Petersen, E. (2001) *Life cycle assessment of four multi-family buildings*. Revista International Journal of Low Energy and Sustainable Buildings, volumen 2. Royal Institute of Technology, Stockholm, Suecia.

Adame, J., Hernández, M., Bolívar, J., De la Morena, B. (2012). *Assessment of an air pollution event in the southwestern Iberian Peninsula*. Atmospheric Environment. Revista Atmospheric Environment, volumen 55.

Adnot, J. y Waide P. (2003). *Energy Efficiency and Certification of Central Air Conditioners (EECCAC)*. Dirección General de Transporte y Energía de la Unión Europea. París, Francia.

Afgan, N., y Darwish, M. (2011) *Multi-criteria sustainability assessment of water desalination and energy systems -- Kuwait case*. Desalination & Water Treatment, volumen 25 N° 1-3.

Aguado, A., Alarcón, B. y Manga, R. (2008), *Razón de ser del anejo ICES de la EHE y características del mismo*. Revista Cemento y Hormigón 913.

Alaminos, A. y Castejón, J. (2006) *Elaboración, análisis e interpretación de encuestas, cuestionarios y escalas de opinión*. Vicerrectorado de Calidad y Armonización Europea, Instituto de Ciencias de la Educación, Universidad de Alicante, España.

Alarcón, N. (2005). *Modelo Integrado de Valor para Estructuras Sostenibles*. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña, Escuela técnica superior de ingeniería de caminos, canales y puertos. Cataluña, España.

Allard, F. y Belarbi, R. (1998). *Metodología de evaluación de técnicas pasivas de enfriamiento*. En memorias del Primer Simposio Venezolano de Confort Térmico y Comportamiento de Edificaciones (COTEDI 1998), Caracas, Venezuela.

APM. 2004. *Project Risk Analysis and Management Guide*. Association for Project Management. APM Publishing Limited.

Aracil J. (1986) *Máquinas, sistemas y modelos: un ensayo sobre sistémica*. Editorial Tecno. Madrid, España.

ASHRAE Standard 55. (2004). *Thermal environmental conditions for human occupancy*. Atlanta, ASHRAE Inc.

Axelsson, R., Angelstam, P., Degerman, E., Teitelbaum, S., Andersson, K., Elbakidze, M., y Drotz, M. (2013) *Social and Cultural Sustainability: Criteria, Indicators, Verifier Variables for Measurement and Maps for Visualization to Support Planning*. *AMBIO - A Journal Of The Human Environment*, volume 42 N° 2.

Banco Mundial (2011). *Indicadores de desarrollo mundial. Consumo de energía procedente de combustibles fósiles*. Con estadísticas de la Agencia Internacional de Energía y de la OECD.

BBC, Londres (2015). *Guide to climate change, the greenhouse effect*. Documento electrónico en internet, consultado el 4 de Abril de 2014, disponible en: http://news.bbc.co.uk/2/shared/spl/hi/sci_nat/04/climate_change/html/greenhouse.stm

Bell, S. y Morse, S. (2008): *Sustainability indicators: measuring the immeasurable?*. Earthscan Publications. Londres, Inglaterra.

Bertalanffy, V., Ross, W. y Weinberg, G. (1981). *Tendencias en la teoría general de sistemas*. Editorial Alianza. Madrid, España.

Böhringer, C. y Jochem, P. (2007) *Measuring the immeasurable. A survey of sustainability indices*. *Revista Ecological Economics*, volume 63 N° 1.

Borges, F. (2012) *Administração pública do setor elétrico: indicadores de sustentabilidade no ambiente residencial do estado do Pará (2001-10)*. *RAP: Revista Brasileira De Administração Pública*, volumen 46 N° 3.

Bossel, H. (2001). *Assessing viability and sustainability: A systemic-based approach for deriving comprehensive indicator sets*. *Revista Conservation Ecology*, volumen 52, N° 2.

Bradley, R., Pershing, J., Schipper, L., Baumert, K., Dubash, N., Moreira, R., Mwaksonda, S., Wei-Shiuen, N., Nogueira, A., Parente, V., y Winkler H. (2005). *Growing in the Greenhouse: Protecting the Climate by Putting Development First*. World Resources Institute. USA.

Briz, J (2004): *Evaluación del bienestar y naturación urbanos*. Editotial Mundi-Prensa. Madrid, España.

Brown, J. (2011) *Refrigerants: Energy and environmental impacts*. HVAC & R Research. Volume 17 N° 2.

Button, K. (2002) *City management and urban environmental indicators*. Revista Ecological Economics, volumen 40 N° 2.

Calderón, E. Pronello, C. y Goger, T. (2009). *Integrated assessment of environmental impact of traffic and transport infrastructure*. Cost Action 350, Madrid.

Cam, W. (2012). *Technologies for Climate Change Mitigation, Building Sector*. Centre on Energy, Climate and Sustainable Development., Programa de Naciones Unidas para el desarrollo, PNUD, (UNEP por sus siglas en inglés). Copenhague, Dinamarca.

Camejo R. (2006) *La epistemología constructivista en el contexto de la postmodernidad*. Nómadas, Revista Crítica de Ciencias Sociales y Jurídicas, volumen 14 N° 2.

Carlino, S. e Irurita, N. (2008). *Sistema de indicadores de desarrollo sostenible, actualización y re-lectura 2008*. Editorial Iberoamericana. Buenos Aires, Argentina.

Castillo, J., Lira, A., Muñoz, J., Ramírez, A., Juárez, N., Rojas, J., y Huelsz, G. (2011). *Uso de sistemas pasivos de climatización en la zona de Temixco Morelos con clima cálido semi-húmedo*. En memorias del XXXV Congreso Nacional de Energía Solar (ANES 2011). Chihuahua, México.

CEPAL (2010) *Indicadores de políticas públicas en materia de eficiencia energética en América Latina y el Caribe*. Organización de las Naciones Unidas, Comisión Económica para América Latina y el Caribe. Santiago de Chile, Chile.

Chamchine, V., Makhviladze, G., y Vorobyev, O. (2006) *Thermodynamic indicators for integrated assessment of sustainable energy technologies*. International Journal Of Low Carbon Technologies, volume 1 N° 1.

Chyee, D., y Kubota, T. (2009) *Analysis of night ventilation potential for residential buildings in hot-humid climate of Malaysia*. PLEA 2009 – Architecture Energy and the Occupant's Perspective: Proceedings of the 26th International Conference on Passive and Low Energy Architecture. Quebec, Canada.

Claverias, R. (2000) *Metodología para construir indicadores de impacto*. Boletín Agroecológico, Volumen 11.

CMNUCC (2012). *Análisis y resumen de la conferencia sobre cambio climático de la CMNUCC en Durban, Sudáfrica*. Programa de las naciones unidas para el desarrollo (PNUD)

Covenin 1565:1995. (1995). *Ruido ocupacional. Programa de conservación auditiva. Niveles permisibles y criterios de evaluación, 3ra revisión*. Comisión Venezolana de Normas industriales. Caracas, Venezuela.

Dale, H., Langholtz, H., Wesh, M., y Eaton, M. (2013) *Environmental and Socioeconomic Indicators for Bioenergy Sustainability as Applied to Eucalyptus*. International Journal Of Forestry Research volume 1 N° 10.

Dasgupta, S., y Tam, E. (2005) *Indicators and framework for assessing sustainable infrastructure*. Canadian Journal Of Civil Engineering, volume 32 N° 1.

De Dear, R. y Brager, G. (2002). *Thermal comfort in naturally ventilated building: Revisions to ASHRAE Standard 55*. Energy and Buildings, Vol. 34, N° 6.

Díaz, J., y Tineo, J. (2011) *Procedimiento para evaluar la eficiencia energética de los sistemas de climatización y refrigeración de expansión directa (DX) con condensadores de aire y evaporativos*. Unidad de Eficiencia Energética y Energías Renovables, CORPOELEC. Caracas, Venezuela.

Doménech, J. (2007). *Huella ecológica y desarrollo sostenible*. Asociación Española de Normalización y Certificación, AENOR ediciones. Madrid, España.

Doménech, J., Carballo, A., Jiménez, L. y de la Cruz, J. (2010) *Estándares de huella de carbono MC3 V.2*. Décimo Congreso Nacional de Medio Ambiente (CONAMA 10). Madrid, España.

Ebert, U. y Welsch, H. (2004) *Meaningful environmental indices: a social choice approach*. Journal of Environmental Economics and Management, volumen 47, N°2.

EEA (2002) *Energy and environment in the European Union*. European Environment Agency. Environmental issue report N° 31. Copenhagen, Dinamarca.

Fernández, G. (2008) *Análisis de los Sistemas de Indicadores de Sostenibilidad. Planificación urbana y proyectos de construcción*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidad Politécnica de Madrid, España.

Fernández, G. y Rodríguez, F. (2010). A methodology to identify sustainability indicators in construction project management-Application to infrastructure projects in Spain. *Revista Ecological Indicators*, volume 10.

Fernández, S. (2008). *Análisis de los Sistemas de Indicadores de Sostenibilidad. Planificación urbana y proyectos de construcción*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidad Politécnica de Madrid.

Ferraro, R., y Lorenzo, E. (2014). *Evaluación del comportamiento de un sistema pasivo de climatización por conductos enterrados en Maracay, Edo. Aragua*. Memorias de la Trienal de investigación FAU 2014. Ediciones de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Caracas, Venezuela.

Figueroa, A., Fuentes, V., Castorena, M., Chávez, R., Valerdi, H., Tovar, I., Torres, E., Morales, Y., Olivares, G., y Campos, A. (2011). *Uso de sistemas pasivos de climatización en el área norte de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México*. En memorias del XXXV Congreso Nacional de Energía Solar (ANES 2011). Chihuahua, México.

Finocchiaro, L., Wiggenstadb, T., y Hestnesa, A. (2010). *Potential of passive cooling, natural ventilation and solar control in cold climates office buildings*. Zero emission buildings, proceedings of Renewable Energy Conference 2010. Trondheim, Noruega.

Flores, V., y Dos Santos, P. (2013) *Análisis de indicadores para determinar el grado de sostenibilidad en concretos especiales*. *Tecnura*, volumen 17 N° 38.

Fourez, G. (1996). *La construction des sciences. Les logiques des inventions scientifiques, Introduction à la philosophie et à l'éthique des sciences*. Editorial De Boeck. Bruselas, Bélgica.

Freudenberg, M. (2003): *Composite indicators of country performance: a critical assessment*. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD) Science, Technology and Industry Working Papers, 2003/16. París, Francia.

Fullana, P. y Ayuso, S. (2002). *Turismo sostenible*. Editorial RUBES. Barcelona, España.

Gabaldón, A. (2006). *Desarrollo sustentable. La salida de América Latina*. Corporación Andina de Fomento. Editorial Grijalbo. Caracas, Venezuela.

Gallopín, G. (2004) *Sustainable development; Epistemological challenges to science and technology*. Paper Workshop on “Sustainable Development: Epistemological Challenges to Science and Technology”, ECLAC, Santiago de Chile.

Gallopín, G., Funtowicz, S., O’Connor, M. y Ravetz, J. (2001). Science for the twenty-first century: from social contract to the scientific core. *International Social Science Journal*, volumen 52 N° 168.

Garza, R., Gonzalez, S. y Perez, V. (2012) *Comparación de métodos de ayuda a la decisión multiatributo en la solución del problema de itinerario de vehículos*. *Revista Investigación Operacional*, Vol. 33 N° 2. La Habana, Cuba.

Gaut, B. (1998). *The ethical criticism of art*. In Jerrold Levinson (ed.), *Aesthetics and Ethics: Essays at the Intersection*. Cambridge University. Cambridge, Reino Unido.

GCCP (2013). *Circles of Sustainability Profile Process Tool and Guiding Paper*. Global Compact Cities Programme. Instituto RMIT, Universidad de Melbourne, Australia.

Geetha, N., y Velraj, R. (2012). *Passive cooling methods for energy efficient buildings with and without thermal energy storage – A review*. *Revista Energy Education Science and Technology Part A: Energy Science and Research* volumen 29 N° 2.

Gething, B., y Bordass, B. (2006) *Rapid assessment checklist for sustainable buildings*. *Building Research & Information*, volume 34 N°4.

Glaserfeld, V. (1988) *Introducción al constructivismo radical*. En Watzlawick, P (ed.) *La realidad inventada*. Editorial Gedisa. Barcelona, España.

González, E. (1997). *Técnicas de enfriamiento pasivo. Resultados experimentales en el clima cálido y húmedo de Maracaibo, Venezuela*. *Revista CIT, Información Tecnológica*, volumen 8 N° 5. La Serena, Chile.

González, S. (2011). *Estudio experimental del comportamiento térmico de sistemas pasivos de enfriamiento en clima cálido-húmedo*. Tesis de maestría no publicada, Universidad Internacional de Andalucía, España.

Goodland, R., Daly, H., Elserafy, S. y Vindroste, B. (1997). *Medio ambiente y desarrollo sostenible. Más allá del Informe Brundtland.* Editorial Trotta. Madrid, España.

GTIS (2004). *Informe sobre los indicadores de sostenibilidad.* Grupo de Trabajo sobre los Indicadores de Sostenibilidad para la aplicación del Programa Hábitat. Dirección General de la Vivienda, la Arquitectura y el Urbanismo. Ministerio de Fomento. Madrid, España

Guy, G., y Kibert, J. (1998) *Developing indicators of sustainability: US experience.* Building Research & Information, volume 26 N° 1.

Habibi, M., y Pourjohari, H. (2014) *Defining sustainability indicators in urban neighborhoods case study:Narmak neighborhood of Tehran (region 8).* International Journal Of Academic Research, volume 6 N° 4.

Hashemkhani, S., y Saparauskas, J. (2013) *New Application of SWARA Method in Prioritizing Sustainability Assessment Indicators of Energy System.* Engineering Economics, volume 24 N° 5.

Hegel, G. (1966) *Fenomenología del espíritu.* Fondo de cultura económica. Ciudad de México, México.

Hobaica, M.E., Belarbi, R. y Rosales, L. (2001). *Los sistemas pasivos de refrescamiento de edificaciones en clima tropical húmedo.* Revista Tecnología y Construcción Volumen 17 N° 1. Caracas, Venezuela.

Huelsz, G., Ochoa, M., López, P., Gómez, A., y Figueroa, A. (2011). *Uso de sistemas pasivos de climatización en cinco zonas de la República Mexicana.* En memorias del XXXV Congreso Nacional de Energía Solar (ANES 2011). Chihuahua, México.

Hueting, R. y Reunders, L. (2004): *Broad sustainability contra sustainability: the proper construction of sustainability indicators.* Revista Ecological Economics, volumen 50 N° 3.

Hung, S., y Tseng, S. (2010) *A New Framework Integrating Environmental Effects into Technology Evaluation.* Journal Of Business Ethics, volume 95 N° 4.

ICLEI (2002) *Local Governments Response to Agenda 21: Summary Report of Local Agenda 21 Survey with Regional Focus.* International Council for Local Environmental Initiatives. Toronto, Canadá.

IEA (2008). *World Energy Outlook 2008*. Agencia internacional de la energía (IEA – OECD). Paris, Francia.

IEA (2011). *World Energy Outlook 2011*. Agencia internacional de la energía (IEA – OECD). Paris, Francia.

IEA (2012). *World Energy Outlook 2012*. Agencia internacional de la energía (IEA – OECD). Paris, Francia.

IEA (2013). *World Energy Outlook 2013*. Agencia internacional de la energía (IEA – OECD). Paris, Francia.

IEA (2014) *Energy Efficiency Indicators: Fundamentals on Statistics*. International Energy Agency. Paris, Francia.

IHOBE. (2010). *Green building rating systems: ¿cómo evaluar la sostenibilidad en la edificación?*. Sociedad pública de gestión ambiental. 1ra edición. Bilbao, España.

IPCC (1990). *Primer informe de evaluación del cambio climático 1990, reporte síntesis*. Contribución de los grupo de trabajo I, II y III. Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC). Ginebra, Suiza.

IPCC (1995). *Segundo informe de evaluación del cambio climático 1995, reporte síntesis*. Contribución de los grupo de trabajo I, II y III. Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC). Ginebra, Suiza.

IPCC (2001). *Tercer informe de evaluación del cambio climático 2001, reporte síntesis*. Contribución de los grupo de trabajo I, II y III. Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC). Ginebra, Suiza.

IPCC (2007). *Cambio climático 2007: Informe de síntesis*. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al 4to Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Ginebra, Suiza.

IPCC (2007a). *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the IPCC. Paperback, Cambridge University, United Kingdom and New York, USA.

IPCC (2007b). *Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change*. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the IPCC. Paperback, Cambridge University, United Kingdom and New York, USA.

IPCC (2014). *Quinto informe de evaluación del cambio climático 2014, reporte síntesis*. Contribución de los grupo de trabajo I, II y III. Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC). Ginebra, Suiza.

ISO 21929. (2011). *Sustainability in building construction: Sustainability indicators. Part 1: Framework for the development of indicators and a core set of indicators for buildings*. International Organization for Standardization. Londres, Reino Unido.

ISO 21930. (2007). *Sustainability in building construction: Environmental declaration of building products*. International Organization for Standardization. Londres, Reino Unido.

ISO 21931-1. (2008). *Sustainability in building construction: Framework for methods of assessment for environmental performance of construction works – Part 1: Buildings*. International Organization for Standardization. Londres, Reino Unido.

ISO 21932. (2005). *Sustainability in building construction: Terminology*. International Organization for Standardization. Londres, Reino Unido.

ITeC. (2016). *Banco de Datos BEDEC*. Instituto Tecnológico de la Construcción de Cataluña: www.itec.es Actualizado en Noviembre 2016.

Jacobs, R., Smith, P. y Goddard, M. (2004) *Measuring performance: an examination of composite performance indicators*. CHE Technical Paper Series, N° 29. Centre for Health Economics (CHE), University of York. York, Reino Unido.

Jain, R. (2005) *Sustainability: metrics, specific indicators and preference index*. Clean Technologies & Environmental Policy. Volume 7 N° 2.

Jones, D. (1998). *Architecture and the Environment: Bioclimatic Building Design*. Laurence King Publishing. University of Michigan, USA.

Junnila, S. (2004). *The Environmental Impact of an Office Building throughout its Life Cycle*. Tesis doctoral de Helsinki University of Technology (TKK) Construction Economics and Management. Espoo, Finlandia.

Kamami, M., Ndegwa, G., y Home, P. (2011) *Fuzzy based decision support method for selection of sustainable wastewater treatment technologies*. International Journal Of Agricultural & Biological Engineering, volume 4 N° 1.

Kemmler, A., y Spreng, D. (2007) *Energy indicators for tracking sustainability in developing countries*. Energy Policy, volume 35 N° 4.

Krank, S., Wallbaum, H., y Grêt-Regamey, A. (2013) *Perceived contribution of indicator systems to sustainable development in developing countries*. Sustainable Development, volume 21 N° 1.

Kubota, T., y Toe, D. (2012) *Re-evaluating passive cooling techniques of traditional Malay houses in Malaysia*. Proceedings – 4th International Network for Tropical Architecture Conference (INTA 2012). Ciudad de Singapur, Singapur.

Kuhn, T. (1976), *La estructura de las revoluciones científicas*. Editorial Fondo de Cultura Económica. México DF, México.

Labra, O. (2013) *Positivismo y Constructivismo: Un análisis para la investigación social*. Revista Rumbos TS, año VII, volumen 7.

Lapietra, M. (2006). *Transport surveys – Guidelines*. Thesis. Dottorato in automazione e informatizzazione dei trasporti XVIII ciclo. Politecnico di Torino, Italia.

Lehtonen, M. (2004). *The environmental social interface of sustainable development: capabilities, social capital, institutions*. Revista Ecological Economics, volumen 49, N° 2.

Levine, M., Urge-Vorsatz, D., Blok, K., Geng, L., Harvey, D., Land, S., Levermore, G., Mongameli, A., Mirasgedis, S., Novikova, A., Rilling, J., Yoshino, H. (2007). *Residential and commercial buildings in Climate Change 2007: Mitigation*. Contribución del grupo de Trabajo III al cuarto Informe de evaluación del grupo Intergubernamental de expertos sobre el cambio climático. Universidad de Cambridge. New York, U.S.A.

Li, T., Zhang, H., Yuan, C., Liu, Z., y Fan, C. (2012) *A PCA-based method for construction of composite sustainability indicators*. International Journal Of Life Cycle Assessment, volume 17 N° 5.

Liu, G., Baniyounes, M., Rasul, M., Amanullah, M., y Khan, M. (2013) *General sustainability indicator of renewable energy system based on grey relational analysis*. International Journal Of Energy Research, volume 37 N° 14.

López, A. (2001). *Occupational Safety and Health in Construction Work*. African Newsletter on Occupational Health and Safety, 11/1, Published by the Finnish Institute of Occupational Health. Toeliuksenkatu Helsinki, Finlandia.

López, P., Roux, R., Espuna, A., y García, V. (2011). *Caracterización y uso de sistemas pasivos de climatización en viviendas de la zona metropolitana de Tampico*,

Madero, Altamira y Tamaulipas. En memorias del XXXV Congreso Nacional de Energía Solar (ANES 2011). Chihuahua, México.

Lorenzo, E. (2007). *Climatización Pasiva por Conductos Enterrados. Caso de aplicación: Almacenes L&G para bebidas alcohólicas y gaseosas*. Tesis de especialización no publicada. Caracas, Venezuela.

Lorenzo, E., Hobaica, M. y Conti, A. (2008). *Desarrollo experimental de un prototipo del sistema de tubos enterrados*. Revista Tecnología y Construcción volumen 24 N° 1. Caracas, Venezuela.

Lubchenco, J. (1997) *Entering the Century of the Environment: A New Social Contract for Science*. Revista Science, volumen 279.

Madhumathi, A., Sundarraja, B., (2012). *Experimental study of passive cooling of building façade using phase change materials to increase thermal comfort in buildings in hot humid areas*. Revista International journal of energy and environment, volumen 3, N° 5.

Maldonado, C. (2009) *Complejidad de los sistemas sociales: un reto para las ciencias sociales*. Revista Cinta de Moebio, volumen 36.

Martínez, M. (1995) *Enfoques Metodológicos en las Ciencias Sociales*. Trabajo presentado en el "Seminario sobre Enfoques Metodológicos en las Ciencias Sociales". Universidad Simón Bolívar. Caracas, Venezuela.

Martínez, M. (2008) *Epistemología y Metodología Cualitativa en las Ciencias Sociales*. Editorial Trillas. Ciudad de México, México.

Meadowcroft, J. (2000). *Sustainable Development: A New Idea (ish) for a New Century?*. Revista Political Studies, volumen 48, N° 2.

Meadows, H. D., Meadows, L. D., Randers, J. y Behrens, W. (1972) *Los Límites del crecimiento: informe al Club de Roma sobre el predicamento de la humanidad*. Editorial Fondo de Cultura Económica. México DF, México.

Metz, B., Davidson, O., Bosch, P., Dave, R., Meyer, L. (2007) *IPCC. Summary for Policymakers, Climate Change 2007: Mitigation*. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University. New York, U.S.A.

Mitchell, G., May, A. y McDonald A. (1995) *PICABUE: a methodological framework for the development of indicators of sustainable development*. International Journal of Sustainable Development and World Ecology. Volumen N° 2

Moldan, B. y Dahl, A. (2007) *Challenges to sustainability indicators*. En Sustainability Indicators - A Scientific Assessment; Hák, T., Moldan, B., Dahl, A., Eds.; Island Press: Washington, USA.

Munda, G. (2005): *Measuring sustainability: a multi-criterion framework*. Revista Environment, Development and Sustainability, volume 7 N° 1.

Munn, T., Whyte, P., Timmerman, A. (1999). *Emerging environmental issues: a global perspective of scope*. Revista Ambio, volumen 28 N° 6.

Murvin, H. (1982), *Architect's Responsibilities in the Project Delivery Process*, 2nd Edition, Architectural Books. Oakland, California.

Nardo, M., Saisana, M., Saltelli, A., Tarantola, S., Hoffman, A. y Giovannini, E. (2005) *Handbook on constructing composite indicators: methodology and user guide*. Statistics Working Paper. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD). París Francia.

Nardo, M., Saisana, M., Saltelli, A. y Tarantola, S. (2005b) *Tools for composite indicators building*. Joint Research Centre (IRC). European Commission. Ispra, Italy.

Nelms, C., Russell, A., y Lence, B. (2005) *Assessing the performance of sustainable technologies for building projects*. Canadian Journal Of Civil Engineering, volume 32 N° 1.

Nelms, C., Russell, A., y Lence, B. (2007) *Assessing the performance of sustainable technologies: a framework and its application*. Building Research & Information, volume 35 N° 3.

Nigel W., Detlef, P., y Morna, I. (2011). *The implications of climate policy for the impacts of climate change on global water resources*. Revista Global Environmental Change, volumen 21 N° 2.

NRC (2000): *Ecological Indicators for the Nation*. National Research Council. National Academy Press. Washington, USA

OECD (1993), *Environmental Indicators: development, measurement and use. Reference paper*. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico. Paris, Francia.

OECD (1999). *Environmental indicators for agriculture. Volume 1: Concepts and framework*. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico. París, Francia.

OECD (2008) *Handbook on constructing composite indicators - methodology and user guide*. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico y Joint Research Centre (JRC). París, Francia.

OECD (2012). *Environmental Outlook to 2050. The Consequences of Inaction*. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico. París, Francia.

OIEA (2008) *Indicadores energéticos del desarrollo sostenible: Directrices y metodologías*. Organismo Internacional de Energía Atómica. Viena, Austria.

ONU (1987). *Nuestro Futuro Común*. Informe de la Comisión Mundial del Medio Ambiente y el Desarrollo (CMMAD). Organización de las Naciones Unidas. Nueva York, USA.

ONU (1992). *Agenda 21. Earth Summit: United Nations Program of Action from Rio*. Organización de las Naciones Unidas. United Nations Publications. New York, USA.

ONU (2002). *Informe de la Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible*. Organización de las Naciones Unidas. Nueva York, USA.

ONU (2007) *Indicators of Sustainable Development: Guidelines and Methodologies*. United Nations publication. New York, USA.

ONU (2008). *Objetivos de desarrollo del Milenio, Informe 2008*. Organización de las Naciones Unidas. Nueva York, USA.

Papadia, A., y Lorenzo, E (2016). *Desarrollo de un sistema de muro vegetal ventilado para acondicionamiento ambiental en espacios interiores*. Memorias de la XXXIV jornadas de investigación del IDEC. Ediciones de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Caracas, Venezuela.

Pérez, L., Ortiz, J. y Pout, C. (2008). *A review on buildings energy consumption information*. Revista Energy and Buildings, volumen 40 N° 3.

Pergolis, J. y Cubillos, R. (2011). *Fundamento epistemológico de la formación avanzada en diseño sostenible. Maestría e Investigación*. Revista Studiositas, volumen 6, N° 1. Bogotá, Colombia.

Persily, A., y Emmerich, S. (2012) *Indoor air quality in sustainable, energy efficient buildings*. HVAC & R Research, Volume 18 N° 1/2.

Piñate, A., Rosales, L., y Lorenzo, E. (2013). *Estudio Experimental de un Sistema Pasivo de Enfriamiento por Techo Estanque*. Revista Tecnología y Construcción volumen 29 N° 1. Caracas, Venezuela.

Piñate, A. (2016). *Diseño de un sistema pasivo de enfriamiento por techo estanque. Caso de estudio: local comercial en Caracas*. Tesis de especialización no publicada. Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela.

PMI (2004) *Guía de los Fundamentos de la Dirección de Proyectos* (Guía del PMBoK). Project Management Institute. Norma Nacional Americana ANSI/PMI 99-001- 2004.

PNUD (2007). *Buildings and climate change. Status, challenges and opportunities*. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Paris, Francia.

PNUD (2009). *Buildings and Climate Change. Summary for Decision Makers*. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Paris, Francia.

PNUD (2010). *Waste and Climate Change, Global Trends and Strategy Framework*. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. International Environmental Technology Centre (IETC). Osaka, Japón.

PNUMA (1995). *Sustainable Development Indicators, Revista Earth Views*, Volume 2, No. 3. Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Nairobi, Kenia.

Polak, F. (1973). *The Image of the Future*. Traducido del holandés por Elise Boulding. Publicaciones Jossey-Bass. San Francisco, USA.

Pöyhönen, M. y Hämäläinen, R. (2001) *On the convergence of multiattribute weighting methods*. European Journal of Operational Research, volumen 129 N°3.

Prado, V. (2015). *Estrategias pasivas para la reducción del consumo energético en edificios de oficinas*. Tesis de especialización no publicada. Caracas, Venezuela.

Price, L., De la Rue du Can, S., Sinton, E., Worrell, N., Zhou, J., Sathaye, D., y Levine, M. (2006). *Sectoral trends in global energy use and greenhouse gas emissions*. Lawrence Berkeley National Laboratory. Berkeley, USA.

Rigby, D., Howlett, D. y Woodhouse, P. (2000) *A review of indicators of agricultural and rural livelihood sustainability*. 1er papel de trabajo - Sustainability indicators for natural resource management and policy. University of Manchester. Manchester, Inglaterra.

Rodríguez, Ó., Castells, F., y Sonnemann, G. (2012) *Environmental Impact of the Construction and Use of a House: Assessment of Building Materials and Electricity End-Uses in a Residential Area of the Province of Norte de Santander, Colombia*. Ingeniería Y Universidad, volumen 16 N° 1.

Rodriguez, S., Roman, M., Sturhahn, S. y Terry, E. (2002). *Sustainability Assessment and Reporting for the University of Michigan's Ann Arbor Campus*. Center for Sustainable Systems. Michigan, USA.

Romero, C. (1996). *Análisis de las decisiones multicriterio*. Isdefe. Madrid, España.

Romero, B. y Pomerol, J. (2000) *Multicriterion Decision in Management: Principles and Practice*. Kluwer Academic Publishers.

Romstad, E. (1999) *Theoretical considerations in the development of environmental indicators*. En: Brouwer, F., y Crabtree, B. (Eds.), *Environmental Indicators and Agricultural Policy*. CAB International. Wallingford, Inglaterra.

Ruiz, H. (2014). *Plafón de enfriamiento radiante para edificaciones en clima cálido húmedo*. Propuesta de Tesis de maestría no publicada. Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela.

Rydin, Y. (2007) *Indicators as a governmental technology? The lessons of community-based sustainability indicator projects*. *Environment and Planning D: Society and Space*, volume 25 N° 4.

Saaty, T. (1977) *A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures*. *Journal of Mathematical Psychology*, volumen 15 N° 3.

Saaty, T. (1980): *The Analytic Hierarchy Process*. Editorial McGraw-Hill. New York, USA.

Said, I., Osman, O., Mohd, M., Razak, A., y Rashideh, W. (2010) *Identifying the indicators of sustainability in the construction industry*. *International Journal Of Organizational Innovation*, volume 2 N° 3.

Santamouris, M., Pavlou, K., Synnefa, A., Niachou, K., y Kolokotsa, D. (2007). *Recent progress on passive cooling techniques. Advanced technological developments to improve survivability levels in low-income households*. *Revista Energy and Buildings*, volumen 39, N°. 7.

Santamouris, M., y Kolokotsab, D. (2013). *Passive cooling dissipation techniques for buildings and other structures: The state of the art*. Revista Energy and Buildings, volumen 57.

Sanusi, A., Shao, L., y Ibrahim, N. (2013). *Passive ground cooling system for low energy buildings in Malaysia (hot and humid climates)*. Revista Renewable Energy, volumen 49.

Šaparauskas, J. (2007) *the main aspects of sustainability evaluation in construction*. En the 9th International Conference, Modern Building Materials, Structures and Techniques. Vilnius, Lituania.

Sasnauskaitė, V., Užšilaitytė, L., y Rogoža, A. (2007) *A Sustainable analysis of a detached house heating system throughout its life cycle. A case study*. International Journal Of Strategic Property Management, volume 11, N° 3.

Shell (2008). Shell energy scenarios to 2050, Publicado por Shell International BV. La Haya, Países Bajos.

Shen, L., Wu, Y., y Zhang, X. (2011) *Key Assessment Indicators for the Sustainability of Infrastructure Projects*. Journal Of Construction Engineering & Management, volume 137 N° 6.

Singh, R., Murty, H., Gupta, S. y Dikshit, A. (2009) *an overview of sustainability assessment methodologies*. Revista Ecological Indicators, volume 15 N° 1.

Sivak, M. (2013). *Will AC Put a Chill on the Global Energy Supply?*. Revista American Scientist, Volumen 101 N° 5.

Smil, V. (2010). *Energy Transitions: History, Requirements and Prospects*. Publicado por ABC-CLIO. Quebec, Canada.

Solís, F. (2006). *Is Building Construction Approaching the Threshold of Becoming Unsustainable? A System Theoretic Exploration towards a Post-Forrester Model for Taming Unsustainable Exponentialoids*. Tesis doctoral. Georgia Institute of Technology. Atlanta, Georgia.

Stewart, T. (1992) *A critical survey on the status of multiple criteria decision making theory and practice*. Revista Omega, volumen 20 N° 5.

Sun, C. (2010) *Delivering Sustainability Promise to HVAC Air Filtration*. ASHRAE Transactions, Volume 116 N° 2.

Suzuki, M., y Oka, T. (1998) *Estimation of life cycle energy consumption and CO₂ emission of office buildings in Japan*. Revista Journal of Energy and Buildings, volumen 28.

Tàbara, D. (2003). Sustainability culture. En Workshop on Governance for Sustainable Development. Instituto Internacional de Gobernabilidad de Cataluña, España.

Tetsu, K. y Doris C. (2010) *Potential of Passive Cooling Techniques for Modern Houses in the Tropical Climate of Malaysia - Analysis of the Indoor Thermal Environment for Various Ventilation Strategies*. Revista International Journal of Ventilation, volume 9, N° 1.

Toe, D., y Kubota, T. (2014) *Potential application of vernacular passive cooling techniques to naturally ventilated modern terraced houses in hot-humid climate of Malaysia*. Efficient, High-Performance Buildings for Developing Economies Conference. Manila, Philippines.

Toskano, H. y Gérard, B. (2005) *El proceso de Análisis Jerárquico (AHP) como herramienta para la toma de decisiones en la selección de Proveedores*. Tesis Digitales. Universidad UNMSM.

Turcu, C. (2013) *Re-thinking sustainability indicators: local perspectives of urban sustainability*. Journal Of Environmental Planning & Management, volume 56 N° 5.

Ugwu, O., Kumaraswamy, M., Wong, A., y Ng, S. (2006) *Sustainability appraisal in infrastructure projects (SUSAIP): Part 1*. Development of indicators and computational methods. Automation In Construction, volume 15 N° 2.

Vanloon, W., Patil, G., y Hugar, B. (2005). *Agricultural Sustainability: Strategies for Assessment*. SAGE Publications. New Delhi, India.

Wackernagel, M. y Rees, W. (1996). *Our ecological footprint: Reducing human impact on the Earth*. Gabriola Island, BC. New Society Publishers. Philadelphia, USA.

Wang, J., y Zhang, X. (2010) *Recommended concentration limits of indoor air pollution indicators for requirement of acceptable indoor air quality*. International Journal Of Energy & Environment. Volume 4.

Weaver, W. (1948) *Science and complexity*. Revista American Scientist, volumen 36.

Weber, M. y Borcherding, K. (1993) *Behavioral influences on weight judgments in multiattribute decision making*. European Journal of Operational Research, volumen 67 N° 1.

Welfens, P., Perret, J., y Erdem, D. (2010) *Global economic sustainability indicator: analysis and policy options for the Copenhagen process*. International Economics & Economic Policy, volume 7 N° 2/3.

Wells, J. (2003) *Social aspects of sustainable construction: an ILO perspective*. Industry & Environment, volume 26 N° 2/3.

Whitaker, R. (2007). *Criticisms of the Analytic Hierarchy Process: Why they often make no sense*. Mathematical and Computer Modelling. Vol. 46.

Wilson, J., Tyedmers, P. y Pelot, R. (2007) *Contrasting and comparing sustainable development indicator metrics*. Revista Ecological Indicators, Volumen 7 N° 2.

Xinhua, X., Shengwei, W., y Zhenjun, M. (2008). *Evaluation of plume potential and plume abatement of evaporative cooling towers in a subtropical region*. Revista Applied Thermal Engineering, volumen 28, N° 11–12. Kowloon, Hong Kong.

Zavrl, M., Žarnić, R., y Šelih, J. (2009) *Multicriterial sustainability assessment of residential buildings*. Technological & Economic Development Of Economy, volume 15 N° 4.

Zhang, L., Wang, L., y Tian, J. (2008) *Study on Sustainable Construction Management Based on LCA*. International Conference on Construction and Real Estate Management. Toronto, Canada.

ANEXO N° 1 - MODELO DE ENCUESTA.

Encuesta para la identificación de dimensiones e indicadores de sostenibilidad en el campo de la climatización de edificaciones.

Esta encuesta está enmarcada dentro de un proyecto de investigación del Doctorado en Desarrollo Sostenible de la Universidad Simón Bolívar en Caracas, Venezuela. Titulado: Metodología para la evaluación de tecnologías de climatización en el marco de la sostenibilidad. En esta primera fase, se están aplicando diversas técnicas de identificación de indicadores de sostenibilidad aplicando los estándares pertinentes entre las que se incluyen las encuestas.

La encuesta tiene por objetivo identificar una lista de dimensiones e indicadores pertinentes para la evaluación de la sostenibilidad en el campo de la climatización de edificaciones. El tiempo estimado para su realización es de 25 minutos. Sus respuestas permitirán orientar las propuestas de indicadores sobre la base de sus conocimientos técnicos específicos a sus ámbitos de competencia.

CONTEXTO DE LA ENCUESTA

El contexto del proyecto se enmarca dentro del paradigma del desarrollo sostenible, concepto formalizando por primera vez en el documento titulado "Nuestro futuro común", conocido como el informe Brundtland (1987) como: "Desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades".

Los tres pilares básicos sobre los que se sustenta el desarrollo sostenible son: el ambiente, respeto al entorno y evaluación de impactos ambientales; la sociedad, integración social del proyecto e igualdad de oportunidades para todos; y la economía basado en el costo del ciclo de vida, la equidad y la potenciación de la economía social tanto regional como global.

CUESTIONARIO

Se tratará toda la información de manera confidencial.

DATOS PERSONALES

Su profesión es:

- | | |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> Ingeniero Civil | <input type="checkbox"/> Biólogo |
| <input type="checkbox"/> Ingeniero Mecánico | <input type="checkbox"/> Agrónomo |
| <input type="checkbox"/> Ingeniero Eléctrico | <input type="checkbox"/> Diseñador de interiores |
| <input type="checkbox"/> Especialista en desarrollo sostenible | <input type="checkbox"/> Fabricante - distribuidor |
| <input type="checkbox"/> Arquitecto | <input type="checkbox"/> Promotor |
| <input type="checkbox"/> Usuario | <input type="checkbox"/> Otro: (Indique) |

¿En qué sector trabaja usted?:

- | | |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> Construcción | <input type="checkbox"/> Mantenimiento de infraestructuras |
| <input type="checkbox"/> Evaluación de Impactos Ambientales | <input type="checkbox"/> Calculista de estructuras |
| <input type="checkbox"/> Diseño de proyectos de ingeniería civil | <input type="checkbox"/> Sector energético |
| <input type="checkbox"/> Indicadores de desarrollo sostenible | <input type="checkbox"/> Ministerio – políticas públicas |
| <input type="checkbox"/> Geología / geotecnia | <input type="checkbox"/> Docencia - investigación |
| <input type="checkbox"/> Fabricación / suministro de materiales | <input type="checkbox"/> Otro: (Indique) |

Trabaja usted en:

- El sector público El sector privado Otro: (Indique)

	Experiencia Profesional	Experiencia en el ámbito de la encuesta (indicadores de
N° de años		

País en que trabaja Usted:

Ciudad en que trabaja Usted

DIMENSIONES DEL DESARROLLO SOSTENIBLE

El término "dimensión" hace referencia a los distintos ámbitos que componen el desarrollo sostenible. Se refiere a campos más precisos que los tres ejes (Ambiente, sociedad y economía). A continuación se proponen varias dimensiones posibles que pueden tenerse en cuenta en la evaluación de la sostenibilidad. Pero lo más importante, son los espacios que se han dejado en blanco para que se propongan y escriban aquellas dimensiones que usted considere deberían figurar como áreas de la sostenibilidad en el campo de la climatización de edificaciones.

Para cada una de ellas (tanto las existentes como las propuestas por usted) deberá indicar el grado de importancia que se concede en una escala de 0 a 6.

0 equivale a que no debe tenerse en cuenta en la evaluación de la sostenibilidad en el campo de la climatización de edificaciones.

6 significa que esta dimensión tiene gran importancia en la evaluación de la sostenibilidad en el campo de la climatización de edificaciones.

	0	1	2	3	4	5	6	NS / NC
a) Agua	<input type="checkbox"/>							
b) Biodiversidad	<input type="checkbox"/>							
c) Atmósfera	<input type="checkbox"/>							
d) Energía	<input type="checkbox"/>							
e) Innovación	<input type="checkbox"/>							
f) Cultura	<input type="checkbox"/>							
g) Suelo	<input type="checkbox"/>							

Otras dimensiones:

h)

Razón u observaciones:

i)

Razón u observaciones:

ii)

Razón u observaciones:

k)

Razón u observaciones:

l)

Razón u observaciones:

m)

Razón u observaciones:

n)

Razón u observaciones:

ñ)

Razón u observaciones:

o)

Razón u observaciones:

Observaciones o comentarios a las dimensiones:

INDICADORES

Siguiendo la misma línea, proponemos ahora una lista de indicadores para la evaluación de la sostenibilidad en el campo de la climatización pasiva, pero dejando espacios libres para sus propuestas de indicadores pues lo que interesa es la identificación de nuevos indicadores según su criterio. El objetivo es conseguir un listado de indicadores de manera que cada sector involucrado esté representado.

Los indicadores reflejados en las tablas son macro-indicadores o criterios globales que posteriormente se desglosarán en micro-indicadores capaces de medir o cuantificar el mismo.

Para cada indicador, tanto los propuestos en la encuesta como aquellos nuevos indicadores que plantee, será necesario que establezca una calificación de 0 a 6 (0 - baja; 6 - alta) de acuerdo al grado de importancia del indicador sobre los pilares del desarrollo sostenible.

A modo de ejemplo, se muestra a continuación la posible evaluación del indicador "Emisiones de CO₂":

INDICADORES	Ambiente	Sociedad	Economía	Observaciones, comentarios
Emisiones de CO ₂	6	3	5	Efecto invernadero y Cambio climático, aspectos fundamentales en el ambiente y la economía global (mercado del carbono)

	INDICADORES	Ambiente	Sociedad	Economía	Observaciones
AGUA	Consumo de agua				
ATMÓSFERA	Emisiones de polvo				
ENERGÍA	Ahorro energético				

	INDICADORES	Ambiente	Sociedad	Economía	Observaciones
MATERIALES Y RESIDUOS	Uso de materiales reutilizados o reciclados				
SALUD E HIGIENE	Calidad del aire				
ASPECTOS ECONÓMICOS	Costo inicial				
INTEGRACIÓN SOCIAL	Aceptación del usuario				

	INDICADORES	Ambiente	Sociedad	Economía	Observaciones
SEGURIDAD					
CULTURA	Preservar el patrimonio cultural				
ECONOMÍA SOCIAL	Desarrollo económico de la comunidad				
OTROS					

Observaciones o comentarios a los indicadores:

Figura N° 49.- Diseño de encuesta. Fuente: Elaboración propia.

ANEXO N° 2 – ANÁLISIS DE TECNOLOGÍAS DE CLIMATIZACIÓN

Descripción de las tecnologías de climatización pasiva o cuasi-pasiva con potencial de aplicación en el contexto climático Venezolano.

Las técnicas de climatización pasiva o cuasi-pasiva de edificaciones se fundamentan en generar bienestar térmico a los usuarios, sin la necesidad de utilizar fuentes artificiales de energía, o hacerlo de forma muy reducida, lo que las agrupa bajo el epígrafe de refrigeración gratuita o “free cooling”.

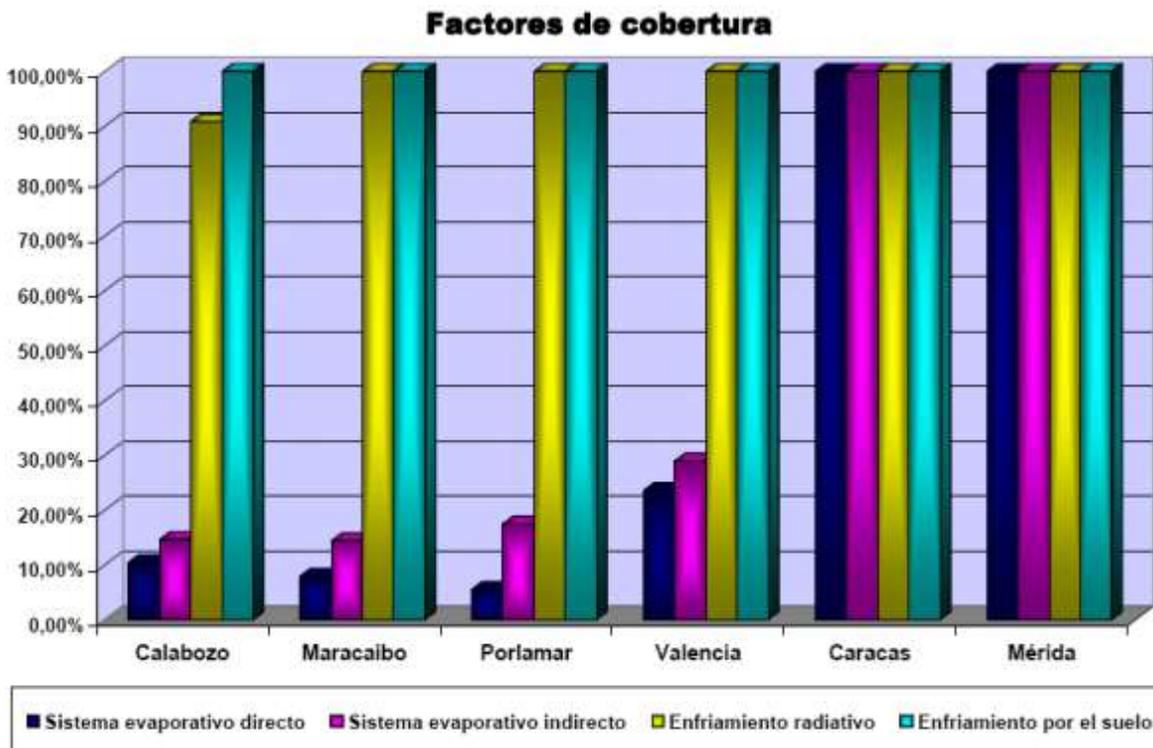
La climatización pasiva se basa en el principio de la termodinámica que indica que el modo natural de fluir la energía es del foco caliente al foco frío (Holman, 1999). Por tanto, para que un edificio de modo natural pierda energía calorífica (calor), debe estar en contacto con un foco frío que le extraiga el calor. Si, por el contrario, se desea evitar la pérdida de calor dentro del edificio, se debe entonces aislar el foco frío. En el caso práctico, el foco frío puede ser una temperatura real (temperatura del suelo a determinada profundidad) o una temperatura hipotética (temperatura aparente del cielo), siendo ésta la temperatura mínima que puede alcanzar el fluido portador de calor (generalmente aire) a la salida del sistema de climatización.

Los principios de la climatización pasiva son los mismos hasta hoy día, sin embargo, las técnicas para su aprovechamiento han evolucionado a través de los años en virtud de lograr una integración cada vez más eficiente con las edificaciones modernas (Coch et al. 1995). Cada técnica responde a necesidades climáticas diferentes, por lo que su escogencia debe basarse en los requerimientos específicos de la edificación y el tipo de clima donde se encuentre.

A través de un acuerdo de cooperación entre el Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción (IDEC-FAU-UCV) y la Universidad de la Rochelle (Francia), a través de su Laboratorio de Estudio de Fenómenos de Transferencia Aplicados a la Edificación (LEPTAB), se han logrado numerosos avances en el campo de la climatización pasiva de edificaciones. Destaca el aporte de una metodología simplificada, cuya transferencia y aplicación en el contexto venezolano permitió

determinar el potencial de técnicas pasivas para mejorar el confort y reducir el gasto energético de edificaciones.

Dicho estudio partió de la pre-selección de sistemas pasivos de eficiencia comprobada en distintas latitudes, a fin de evaluar su aplicación en edificaciones dentro del territorio venezolano. Las técnicas seleccionadas (enfriamiento por contacto con el suelo, enfriamiento radiante y enfriamiento evaporativo), luego de habersele estimado su potencial teórico de aplicación, y obtenido su factor de cobertura en seis ciudades de Venezuela seleccionadas por la representatividad de su clima, se concluyó que los sistemas de enfriamiento por contacto con el suelo, son los que poseen mayor potencial de aplicación en todo el territorio nacional, seguido por el enfriamiento radiante y por último el evaporativo, tal y como se puede apreciar en la siguiente imagen.

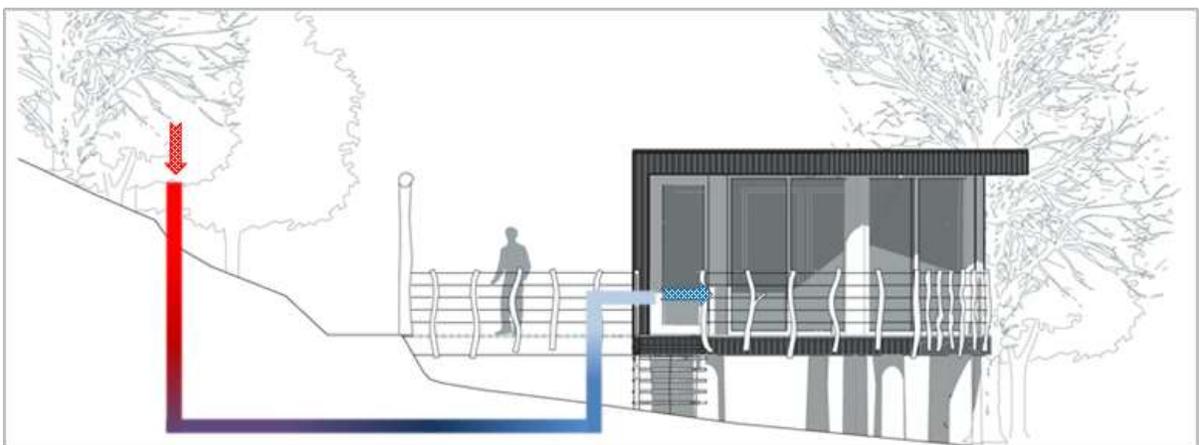


Factores de cobertura de las cuatro técnicas evaluadas en las seis ciudades seleccionadas. Fuente: Elaboración propia, según Hobaica et al, 2001.

1.- Sistemas de enfriamiento por contacto con el suelo

El principio de enfriamiento por contacto con el suelo se basa en la disipación de calor hacia la tierra, cuya temperatura luego de aproximadamente dos metros de profundidad, es cercana al promedio de la temperatura anual de la zona y por consiguiente sensiblemente menor que la del ambiente en horas de mayor temperatura durante el día. El recurso más simple para su aprovechamiento es enterrar parcialmente la edificación (enfriamiento directo), con lo cual se logra igualar la temperatura de las paredes con la del terreno, disminuyendo la temperatura radiante y mientras se disipa el calor al terreno.

Con base en el mismo principio, se ha desarrollado un sistema más elaborado de conductos enterrados como alternativa para aquellas situaciones donde el enfriamiento directo no es viable. Este sistema consiste en enterrar una serie de tubos, preferiblemente de conductividad elevada (metálicos, de arcilla o cemento), con la intención de que a través de ellos se haga circular un determinado caudal de aire tomado del exterior del edificio, el cual intercambiará calor a lo largo del recorrido tratando de igualar su temperatura con la de la tierra, para finalmente incorporarlo al espacio.



Esquema de funcionamiento del sistema de conductos enterrados. Fuente: Elaboración Propia.

En el país se han logrado significativos avances en el desarrollo de esta técnica. En la actualidad a través del desarrollo de dos proyectos de investigación financiados por el CDCH-UCV y el FONACIT, se pretende, entre otras cosas, cuantificar la potencia de enfriamiento vs consumo energético, frente a sistemas tradicionales de climatización.

Asimismo, el estudiante de la especialización en Desarrollo Tecnológico de la Construcción, Arq. Reinaldo Ferraro, lleva a cabo su trabajo especial de grado en esta área, desarrollando hasta el momento dos experiencias experimentales de gran interés en la ciudad de Valencia, Edo. Aragua, donde, donde pudo validar las conclusiones obtenidas por los trabajos previos (Lorenzo, 2007), (Lorenzo, et al, 2008), en cuanto al funcionamiento y efectividad de este sistema en climas cálido-húmedo, a la par que pretende la obtención del potencial real de enfriamiento de esta técnica, respecto a sistemas convencionales de climatización.

2.- Sistemas de enfriamiento radiante

El enfriamiento radiante se fundamenta en el intercambio de calor entre cuerpos a través de la radiación de onda larga emanada de las superficies que lo rodean. Por lo tanto, este sistema puede ser utilizado tanto para el enfriamiento como calentamiento de espacios, siempre que se garantice la existencia de una diferencia de temperatura entre la envolvente y el espacio a climatizar.

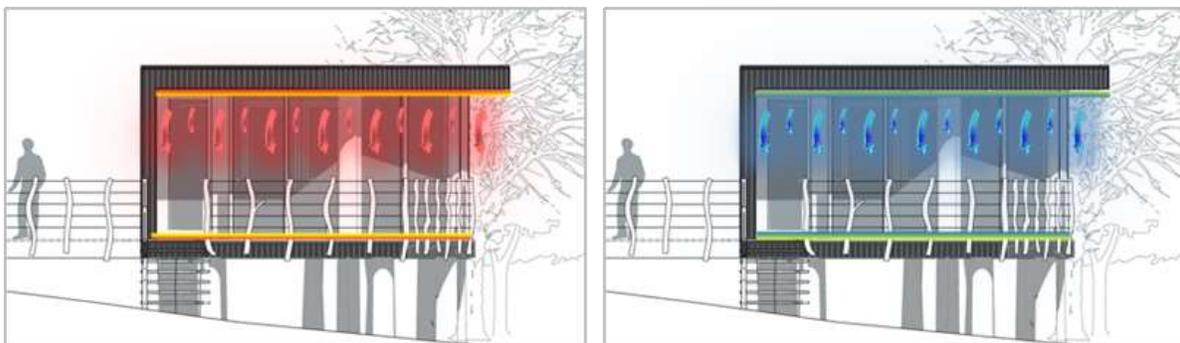
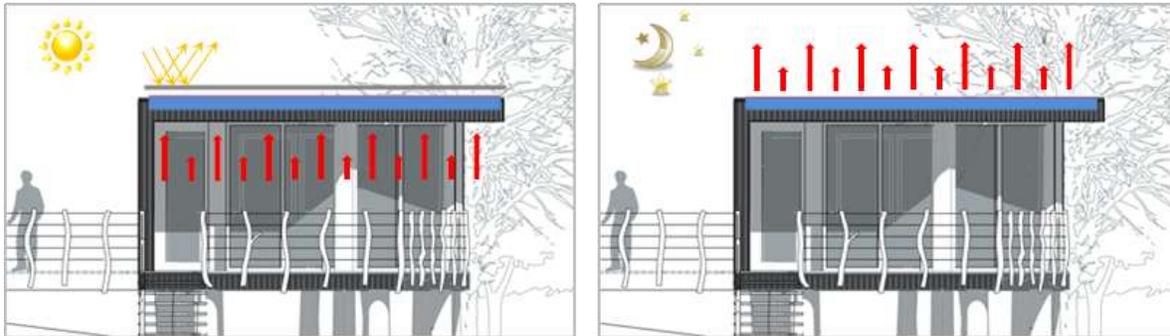


Figura N° 50.- Esquema de funcionamiento del sistema radiante por techo para calefacción (Izq.) y para enfriamiento (Der.). Fuente: Elaboración propia.

Las técnicas de aplicación pueden ser muchas, sin embargo, en el IDEC se están desarrollando actualmente dos. Una, por parte del Arq. Henry Ruiz, quien es estudiante de la Maestría en Desarrollo Tecnológico de la Construcción, quien lleva a cabo el desarrollo de un sistema de plafón radiante a través de pequeñas tuberías por donde se hace circular agua a baja temperatura Y la segunda por parte de la Arq. Andys Piñate, quien está trabajando en un estanque de techo

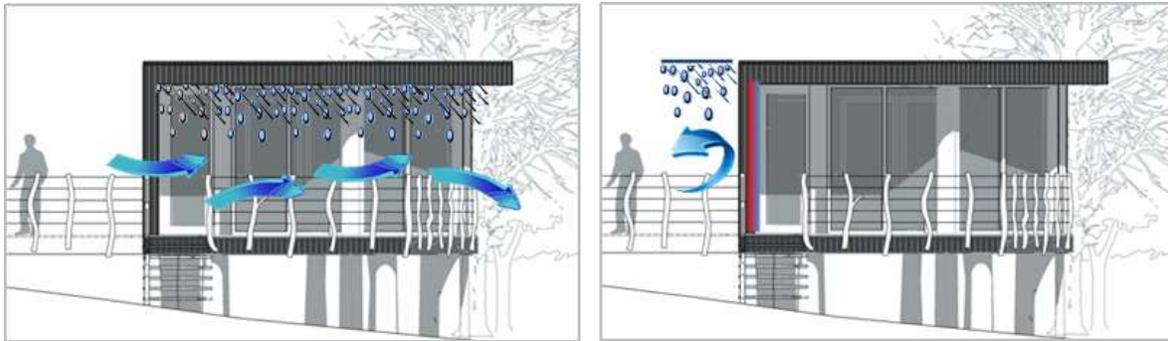


Esquema de funcionamiento del sistema de estanque de techo durante el día (Izq.) y la noche (Der.). Fuente: Elaboración propia.

3.- Sistemas de enfriamiento evaporativo

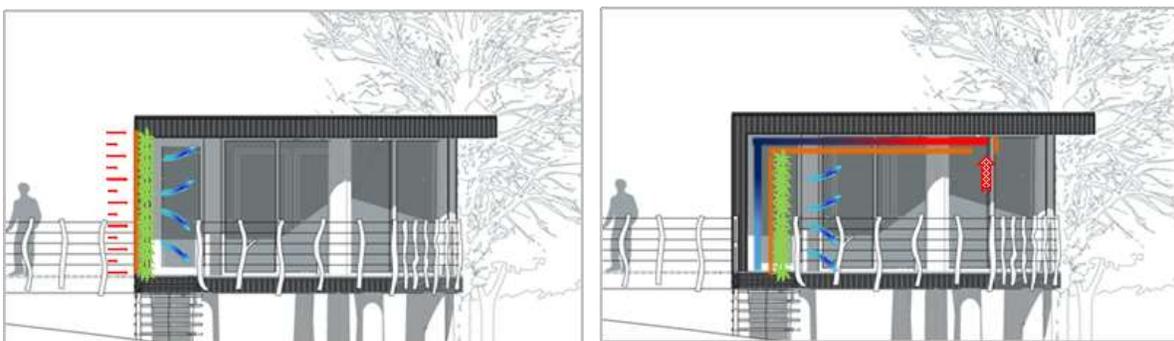
El sistema evaporativo funciona al extraer la energía calórica del aire por medio de la evaporación del agua, reduciendo así su temperatura y aumentando simultáneamente la humedad.

Comúnmente, estos sistemas pueden ser configurados para funcionar de manera directa, cuando el agua se evapora en una corriente de aire que ingresa directamente en los espacios construidos, aumentando su humedad, e indirecta, cuando el agua se evapora en una corriente de aire exterior, la cual intercambiará calor sensible con la corriente de aire que finalmente ingresará al espacio, sin que esta última aumente su humedad.



Esquema de funcionamiento del sistema de enfriamiento evaporativo directo (Izq.) e indirecto (Der.). Fuente: Elaboración Propia.

Su mayor potencial de aplicación es en climas secos, ya que el aire posee niveles de humedad muy bajos, teniendo mayor capacidad de absorber el vapor de agua. En Venezuela, el enfriamiento evaporativo indirecto es el que presenta el mayor potencial teórico de aplicación, por lo que en la actualidad en el IDEC, se está desarrollando como complemento del trabajo especial de grado del Arq. Reinando Ferraro, la experimentación de un sistema evaporativo indirecto, a través de la creación de una membrana vegetal ventilada, quien será la responsable de extraerle calor al aire, a través de la evaporación del agua presente en el sustrato de las plantas. Este sistema puede diseñarse para que tome aire directamente del exterior, o de retorno del espacio, tal y como se muestra a continuación.

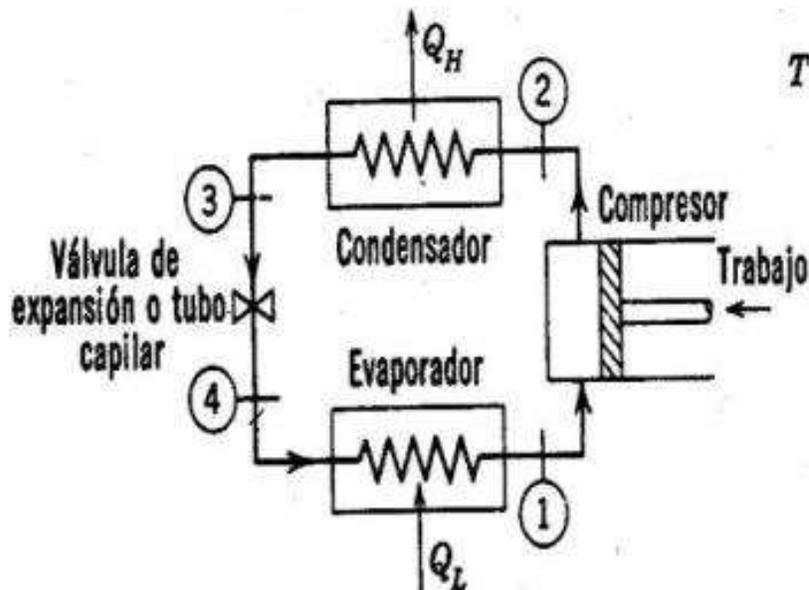


Esquema de funcionamiento del sistema de enfriamiento vegetal con aire del exterior (Izq.) y con aire de retorno del espacio (Der.). Fuente: Elaboración propia.

Descripción de las tecnologías de climatización activas, aplicadas tradicionalmente en el contexto climático Venezolano.

La climatización activa de edificaciones se caracteriza por el uso continuo de la energía eléctrica para el logro del bienestar térmico en los espacios construidos. En Venezuela, al tener un clima cálido, a caliente húmedo en la mayoría de su geografía, los equipos más utilizados son los de enfriamiento de expansión directa con condensación por aire y/o evaporativos (Díaz, J. et al. 2011).

Estos sistemas se caracterizan por llevar a cabo su proceso de refrigeración mediante un compresor que succiona vapor refrigerante a baja presión y temperatura del evaporador, en donde se realiza el intercambio directo de calor (aire-refrigerante) y lo comprime y envía a alta presión y temperatura hacia el condensador, ubicado generalmente en el exterior para expulsar el calor del evaporador junto al generado por el compresor. Finalmente el refrigerante líquido (condensado) a alta presión y temperatura se expande a través del dispositivo de expansión (capilar, válvula de expansión, válvula de presión constante, etc.) hasta la baja presión y temperatura del evaporador, repitiéndose a continuación el ciclo de refrigeración nuevamente.

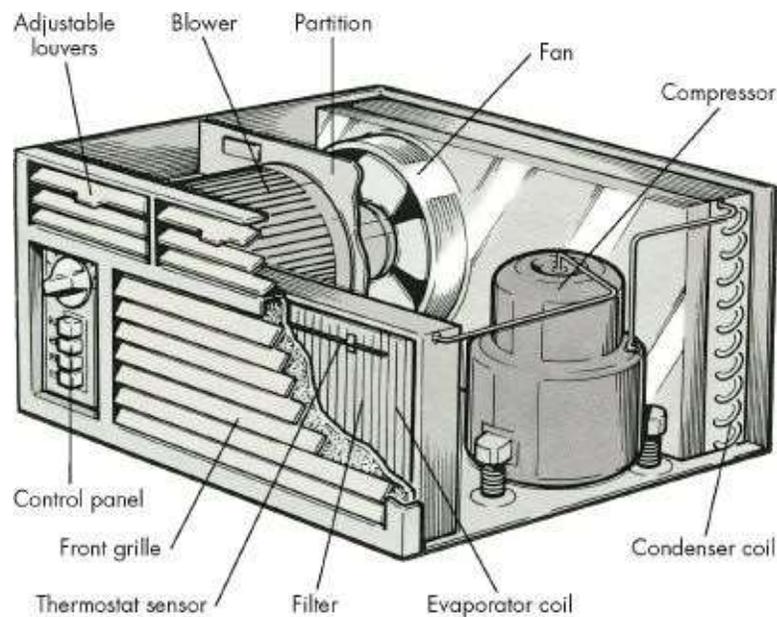


Componentes del ciclo o proceso de refrigeración. Fuente: Díaz, J. et al. 2011.

Son varios los equipos de expansión directa para climatización y refrigeración presentes en el mercado venezolano, por lo que se describirán los más representativos.

1.- Sistema acondicionador de aire de ventana

Estos equipos se colocan directamente en una sección de la ventana del espacio a climatizar, o a través de una abertura realizada en la pared.



Esquema de un acondicionador de aire de ventana. Fuente: Díaz, J. et al. 2011.

2.- Sistema acondicionador de aire Split

Los sistemas Split están conformados por una o varias unidades interiores (evaporadora) y una unidad condensadora que se ubica en el exterior. Estos sistemas pueden ser utilizados a nivel residencia comercial e industrial, en función de su capacidad de enfriamiento. A nivel residencial pueden ser unidades Mono-Split y/o Multi-Split



Sistemas split para climatización residencial. Fuente: Díaz, J. et al. 2011.

A nivel comercial o industrial se utilizan estos sistemas pero con una capacidad mayor y una configuración Mono-Split.



Sistemas split para climatización comercial o industrial. Fuente: Díaz, J. et al. 2011.

3.- Sistema acondicionador de aire rooftop

Estos sistemas integran en una sola unidad la condensadora y la manejadora de aire. Se fabrican para pequeñas medianas y grandes capacidades de climatización.



Sistema rooftop compacto para climatización. Fuente: Díaz, J. et al. 2011.

4.- Sistema acondicionador de aire compacto o “monoblock”

Estos sistemas son diseñados para refrigeración comercial e industrial, caracterizándose por integrar en una sola unidad la evaporadora que se ubica en el interior del espacio y la condensadora hacia la parte exterior, pero ambas en un mismo bloque.



Sistemas Compacto o monoblock para climatización comercial o industrial. Fuente: Díaz, J. et a

ANEXO N° 3 – MATRIZ AHP COMPLETA.

El rango usado para la emisión de juicios de valor ha sido, entre +9 (mucho más importante) hasta -9 (mucho menos importante). En este sentido, un valor mayor que 1 significa que el indicador ubicado en la fila de la matriz tiene una importancia relativa tanto mayor en relación con la sostenibilidad que indicador ubicado en la columna; y menor que 1 (representado en color rojo) significa que tiene una importancia relativa tanto menor. Un valor igual a uno, supone que ambos indicadores tienen la misma importancia en relación a la sostenibilidad.

Indicadores de sostenibilidad – climatización de edificaciones											
Matriz de comparación por pares	Emisiones de CO2	Calidad del aire interior	Consumo de materiales	Materiales Reciclados	Sustancias peligrosas	Generación de residuos	Consumo de energía CV	Uso de energías limpia	Generación de energía	Alteración de ecosistemas	Huella Ecológica
Emisiones de CO2	1	1	1	3	1	2	1	1	4	2	1
Calidad del aire interior	1	1	1	3	1	1	1	1	4	2	1
Consumo de materiales	1	1	1	2	1	1	1	1	3	1	1
Materiales Reciclados	1/3	1/3	1/2	1	1/2	1/2	1/3	1/2	1	1/2	1/2
Sustancias peligrosas	1	1	1	2	1	1	1	1	3	2	1
Generación de residuos	1/2	1	1	2	1	1	1/2	1	3	1	1
Consumo de energía CV	1	1	1	3	1	2	1	2	4	2	1
Uso de energías limpia	1	1	1	2	1	1	1/2	1	3	1	1
Generación de energía	1/4	1/4	1/3	1	1/3	1/3	1/4	1/3	1	1/2	1/3
Alteración de ecosistemas	1/2	1/2	1	2	1/2	1	1/2	1	2	1	1/2
Huella Ecológica	1	1	1	2	1	1	1	1	3	2	1
Consumo de agua	1/2	1	1	2	1	1	1/2	1	2	1	1
Contaminación del agua	1/2	1/2	1/2	1	1/2	1	1/2	1/2	2	1	1/2
Área requerida de suelo	1/5	1/4	1/4	1/2	1/5	1/4	1/6	1/6	1/2	1/3	1/5
Contaminación del suelo	1/2	1	1	2	1	1	1/2	1	2	1	1/2
Vulnerabilidad al cambio climático	1/2	1	1	2	1/2	1	1/2	1	3	1	1
Vulnerabilidad en desastres naturales	1/2	1	1	2	1	1	1/2	1	3	1	1
Impacto Visual	1/3	1/3	1/3	1	1/4	1/2	1/4	1/2	1	1/2	1/2
Disponibilidad al público	1/2	1	1	2	1/2	1	1/2	1	2	1	1/2
Trabajadores locales CV	1/4	1/4	1/3	1	1/3	1/3	1/4	1/3	1	1/2	1/3
Formación y adiestramiento	1/5	1/5	1/4	1/2	1/4	1/3	1/5	1/4	1	1/3	1/5
Seguridad y salud	1	1	2	2	1	1	1	1	3	2	1
Responsabilidad social	1/2	1/2	1/2	2	1	1	1/2	1	2	1	1
Aceptación de usuarios y comunidad	1/2	1/2	1	2	1/2	1	1/2	1	2	1	1/2
Respeto al patrimonio	1/2	1	1	1	1/2	1	1/2	1	2	1	1
Participación y control público	1/2	1/2	1	2	1	1	1/2	1	3	1	1
Confort higrotérmico	1	1	2	2	1	1	1	1	3	2	1
Confort acústico	1	1	1	2	1/2	1	1/2	1	3	1	1
Costo de la energía	1/4	1/4	1/3	1	1/3	1/3	1/4	1/3	1	1/2	1/3
Costo de ciclo de vida	1	1	1	2	1	1	1	1	3	2	1
Costo / Beneficio	1/3	1/3	1/2	1	1/3	1/2	1/4	1/2	1	1/2	1/3
Transporte	1	1	1	2	1	1	1	1	4	2	2
Tipo de mano de obra	1/5	1/4	1/4	1/2	1/4	1/4	1/6	1/4	1	1/3	1/5
Durabilidad	1/2	1/2	1/2	1	1/2	1/2	1/2	1/2	2	1	1/2
Innovación	1/2	1/2	1	1	1/2	1	1/2	1	2	1/2	1/2
Previsión para la deconstrucción	1/2	1	1	2	1	1	1/2	1	3	1	1
Adaptabilidad	1/2	1/2	1/2	1	1/2	1	1/2	1/2	2	1	1/2
Cambios en infraestructura	1/4	1/3	1/3	1/2	1/3	1/3	1/4	1/3	1	1/2	1/3
Autoconstrucción	1/3	1/3	1/3	1	1/3	1/2	1/3	1/2	1	1/2	1/3
Acreditación / Certificación	1	1	1	2	1	1	1/2	1	3	2	1
Acceso al financiamiento	1/3	1/2	1/2	1	1/3	1/2	1/3	1/2	1	1/2	1/2
Cumplimiento de normas	1/4	1/2	1/3	1/2	1/3	1/3	1/4	1/3	1	1/2	1/3
Columna total	24,5167	29,1167	33,5833	66,5000	28,1167	35,5000	22,7833	33,3333	92,5000	44,5000	30,4333

Consumo de agua	Contaminación del agua	Área requerida de suelo	Contaminación del suelo	Alinerabilidad al cambio climático	Resiliencia en desastres naturales	Impacto Visual	Disponibilidad al público	Trabajadores locales CV	Formación y adiestramiento	Seguridad y salud	Responsabilidad social
2	2	5	2	2	2	3	2	4	5	1	2
1	2	4	1	1	1	3	1	4	5	1	2
1	2	4	1	1	1	3	1	3	4	1/2	2
1/2	1	2	1/2	1/2	1/2	1	1/2	1	2	1/2	1/2
1	2	5	1	2	1	4	2	3	4	1	1
1	1	4	1	1	1	2	1	3	3	1	1
2	2	6	2	2	2	4	2	4	5	1	2
1	2	6	1	1	1	2	1	3	4	1	1
1/2	1/2	2	1/2	1/3	1/3	1	1/2	1	1	1/3	1/2
1	1	3	1	1	1	2	1	2	3	1/2	1
1	2	5	2	1	1	2	2	3	5	1	1
1	2	3	1	1	1	3	2	3	3	1/2	1
1/2	1	2	1	1/2	1/2	2	1	2	3	1/2	1
1/3	1/2	1	1/4	1/5	1/5	1	1/3	1/2	2	1/4	1/3
1	1	4	1	1/2	1/2	1	1	2	2	1	1
1	2	5	2	1	1	2	2	3	3	1	1
1	2	5	2	1	1	2	2	3	3	1	1
1/3	1/2	1	1	1/2	1/2	1	1	1	2	1/3	1/3
1/2	1	3	1	1/2	1/2	1	1	2	2	1	1
1/3	1/2	2	1/2	1/3	1/3	1	1/2	1	1	1/3	1/2
1/3	1/3	1/2	1/2	1/3	1/3	1/2	1/2	1	1	1/4	1/2
2	2	4	1	1	1	3	1	3	4	1	2
1	1	3	1	1	1	3	1	2	2	1/2	1
1	1	3	1	1	1	2	1	2	3	1/2	1
1	1	2	1	1	1	1	1	2	2	1	1
1	1	4	1	1	1	2	1	2	3	1	1
2	2	5	2	1	1	3	2	3	4	1	2
1	1	3	1	1	1	2	2	3	3	1	2
1/3	1/2	2	1/2	1/3	1/3	1	1/2	1	1	1/3	1/2
1	2	4	2	1	1	3	2	3	4	1	2
1/2	1/2	3	1	1/2	1/2	1	1/2	1	1	1/2	1
1	2	5	2	1	1	3	2	3	4	1	2
1/4	1/2	1	1/3	1/4	1/4	1/2	1/3	1/2	1	1/5	1/3
1/2	1	2	1	1/2	1/2	2	1	2	2	1/2	1
1	1	3	1	1	1	2	1	2	2	1/2	1
1	1	4	1	1	1	2	1	2	4	1	1
1	1	3	1	1	1	2	1	2	3	1/2	1
1/3	1/2	1	1/2	1/3	1/3	1	1/2	1	1	1/3	1/2
1/2	1/2	2	1/2	1/2	1/2	2	1/2	1	2	1/3	1/2
1	2	4	2	1	1	3	2	3	4	1	1
1/2	1/2	2	1/2	1/2	1/2	1	1/2	1	2	1/3	1/2
1/3	1/2	1	1/2	1/2	1/2	1	1/2	1	1	1/3	1/2

Optimización de usuarios y comunidad	Respeto al patrimonio	Participación y control público	Confort higrotérmico	Confort acústico	Costo de la energía	Costo de ciclo de vida	Costo / Beneficio	Transporte	Tipo de mano de obra	Durabilidad	Innovación
2	2	2	1	1	4	1	3	1	5	2	2
2	1	2	1	1	4	1	3	1	4	2	2
1	1	1	1/2	1	3	1	2	1	4	2	1
1/2	1	1/2	1/2	1/2	1	1/2	1	1/2	2	1	1
2	2	1	1	2	3	1	3	1	4	2	2
1	1	1	1	1	3	1	2	1	4	2	1
2	2	2	1	2	4	1	4	1	6	2	2
1	1	1	1	1	3	1	2	1	4	2	1
1/2	1/2	1/3	1/3	1/3	1	1/3	1	1/4	1	1/2	1/2
1	1	1	1/2	1	2	1/2	2	1/2	3	1	2
2	1	1	1	1	3	1	3	1/2	5	2	2
1	1	1	1/2	1	3	1	2	1	4	2	1
1	1	1	1/2	1	2	1/2	2	1/2	2	1	1
1/3	1/2	1/4	1/5	1/3	1/2	1/4	1/3	1/5	1	1/2	1/3
1	1	1	1/2	1	2	1/2	1	1/2	3	1	1
1	1	1	1	1	3	1	2	1	4	2	1
1	1	1	1	1	3	1	2	1	4	2	1
1/2	1	1/2	1/3	1/2	1	1/3	1	1/3	2	1/2	1/2
1	1	1	1/2	1/2	2	1/2	2	1/2	3	1	1
1/2	1/2	1/2	1/3	1/3	1	1/3	1	1/3	2	1/2	1/2
1/3	1/2	1/3	1/4	1/3	1	1/4	1	1/4	1	1/2	1/2
2	1	1	1	1	3	1	2	1	5	2	2
1	1	1	1/2	1/2	2	1/2	1	1/2	3	1	1
1	1	1	1/2	1	2	1/2	2	1/2	3	1	1
1	1	1	1	1	2	1	2	1/2	4	1	1
1	1	1	1	1	2	1	2	1	3	1	1
2	1	1	1	1	3	1	3	1	5	2	2
1	1	1	1	1	3	1	2	1	4	1	1
1/2	1/2	1/2	1/3	1/3	1	1/4	1	1/3	2	1/3	1/2
2	1	1	1	1	4	1	3	1	4	2	2
1/2	1/2	1/2	1/3	1/2	1	1/3	1	1/3	2	1/2	1/2
2	2	1	1	1	3	1	3	1	5	2	2
1/3	1/4	1/3	1/5	1/4	1/2	1/4	1/2	1/5	1	1/3	1/3
1	1	1	1/2	1	3	1/2	2	1/2	3	1	1
1	1	1	1/2	1	2	1/2	2	1/2	3	1	1/3
1	1	1	1	1	3	1	2	1	4	2	1
1	1	1	1/2	1	2	1/2	2	1/2	3	1	1
1/2	1/2	1/2	1/3	1/3	1	1/3	1	1/3	2	1/2	1/2
1/2	1/2	1/2	1/3	1/2	1	1/2	1	1/3	2	1	1/2
1	1	1	1	1	3	1	2	1	4	2	2
1/2	1/2	1/2	1/3	1/2	1	1/3	1	1/3	2	1	1/2
1/2	1/2	1/2	1/4	1/3	1	1/3	1	1/3	2	1/2	1/2
44,0000	40,2500	37,7500	27,5667	35,0833	93,0000	29,3333	76,8333	27,5667	134,0000	53,6667	46,0000

revisión para la deconstrucción	Adaptabilidad	Cambios en infraestructura	Autoconstrucción	Acreditación / Certificación	Acceso al financiamiento	Cumplimiento de normas
2	2	4	3	1	3	4
1	2	3	3	1	2	2
1	2	3	3	1	2	3
1/2	1	2	1	1/2	1	2
1	2	3	3	1	3	3
1	1	3	2	1	2	3
2	2	4	3	2	3	4
1	2	3	2	1	2	3
1/3	1/2	1	1	1/3	1	1
1	1	2	2	1/2	2	2
1	2	3	3	1	2	3
1	1	3	2	1	2	3
1	1	2	2	1/2	2	2
1/4	1/3	1	1/2	1/4	1/2	1
1	1	2	2	1/2	2	2
1	1	3	2	1	2	2
1	1	3	2	1	2	2
1/2	1/2	1	1	1/3	1	1
1	1	2	2	1/2	2	2
1/2	1/2	1	1	1/3	1	1
1/4	1/3	1	1/2	1/4	1/2	1
1	2	3	3	1	3	3
1	1	2	2	1	2	2
1	1	2	2	1	2	2
1	1	2	2	1	2	2
1	1	2	2	1	2	2
1	2	3	3	1	3	4
1	1	3	2	1	2	3
1/3	1/2	1	1	1/3	1	1
1	2	3	1	1	3	3
1/2	1/2	1	1	1/2	1	1
1	2	3	3	1	3	3
1/4	1/3	1/2	1/2	1/4	1/2	1/2
1/2	1	2	1	1/2	1	2
1	1	2	2	1/2	2	2
1	1	3	2	1	2	3
1	1	2	2	1/2	2	2
1/3	1/2	1	1	1/3	1	1
1/2	1/2	1	1	1/2	1	1
1	2	3	3	1	3	3
1/4	1/3	1/2	1/2	1/4	1/2	1/2
1/2	1	2	1	1/2	1	2
1	1	2	2	1/2	2	2
1	1	3	2	1	2	3
1	1	2	2	1/2	2	2
1/3	1/2	1	1	1/3	1	1
1/2	1/2	1	1	1/2	1	1
1	2	3	3	1	3	3
1/2	1/2	1	1	1/2	1	2
1/3	1/2	1	1	1/2	1/2	1
35,5833	47,5000	91,5000	77,5000	31,2500	75,0000	89,5000

	AHP		Consistency check
1	0,041	4,1%	Consistency OK
2	0,035	3,5%	1%
3	0,031	3,1%	
4	0,015	1,5%	
5	0,036	3,6%	
6	0,029	2,9%	
7	0,045	4,5%	
8	0,030	3,0%	
9	0,011	1,1%	
10	0,023	2,3%	
11	0,034	3,4%	
12	0,028	2,8%	
13	0,020	2,0%	
14	0,008	0,8%	
15	0,023	2,3%	
16	0,029	2,9%	
17	0,030	3,0%	
18	0,013	1,3%	
19	0,022	2,2%	
20	0,011	1,1%	
21	0,009	0,9%	
22	0,036	3,6%	
23	0,023	2,3%	
24	0,023	2,3%	
25	0,026	2,6%	
26	0,027	2,7%	
27	0,037	3,7%	
28	0,029	2,9%	
29	0,011	1,1%	
30	0,035	3,5%	
31	0,013	1,3%	
32	0,037	3,7%	
33	0,007	0,7%	
34	0,019	1,9%	
35	0,022	2,2%	
36	0,029	2,9%	
37	0,021	2,1%	
38	0,011	1,1%	
39	0,013	1,3%	
40	0,033	3,3%	
41	0,013	1,3%	
42	0,011	1,1%	

ANEXO N° 4 - ENERGÍA Y EMISIONES DE CO2.

Alternativa N° 1

Energía y Emisiones de CO2 Estimadas CV- Alternativa N° 1													
PARTIDA COVENINN	UNIDAD	CANT.	ENERGIA INCORPORADA (kWh/Unidad)	TOTAL ENERGIA INCORPORADA (kWh)	EMISION CO2 INCORPORADA (TtC)/(kgCO2/Unidad)	TOTAL EMISIONES CO2 INCORPORADAS (kgCO2)	CONSUMO DE ENERGIA ELECTRICA USO (kWh/MES)	FACTOR DE EMISION CO2 ELECTRICIDAD (TtC)/(kgCO2/kWh)	VDA UTIL (MESES)	TOTAL CONSUMO DE ENERGIA ELECTRICA USO (kWh)	TOTAL EMISIONES CO2 POR ELECTRICIDAD (kgCO2)	EMISIONES TOTALES DE CO2 (kgCO2)	ENERGIA TOTAL (kWh)
E711.113.015	PZA	5	4.628,00	23.140,00	1.812,00	9.060,00	74.549,73	0,395	180	13.418.951,40	5.309.485,80	5.309.545,80	13.442.091,40
M719.110.100	kg	160	25,17	4.027,20	6,58	1.052,48				0,00	0,00	1.052,48	4.027,20
M719.210.020	m2	110	41,39	4.552,68	17,04	1.874,40				0,00	0,00	1.874,40	4.552,68
E712.161.410	PZA	15	227,78	3.416,70	81,70	1.225,50				0,00	0,00	1.225,50	3.416,70
E713.611.412	PZA	5	227,78	1.138,90	81,70	408,50				0,00	0,00	408,50	1.138,90
E801.200.050	m3	2	141,46	282,92	30,00	60,00				0,00	0,00	60,00	282,92
E341.010.114	m2	32	0,07	2,30	0,03	0,99				0,00	0,00	0,99	2,30
C208.721.001	kg	280	10,72	3.001,60	2,95	826,00				0,00	0,00	826,00	3.001,60
E328.00015P	m3	3	434,75	1.304,25	294,28	882,84				0,00	0,00	882,84	1.304,25
R910.132.150	m3*m	65	0,21	13,33	0,00	0,21				0,00	0,00	0,21	13,33
E136.020.000	m3	15	1,61	24,15	0,26	3,92				0,00	0,00	3,92	24,15
C088.202.111	m3*km	110	0,78	85,80	0,12	12,92				0,00	0,00	12,92	85,80
R251.910.300	PZA	25	18,76	469,10	16,09	402,20				0,00	0,00	402,20	469,10
M800.300.5C	Unid.	9	54,01	486,09	24,30	218,70				0,00	0,00	218,70	486,09
R273.930.009	PZA	5	7,50	37,49	0,04	0,22				0,00	0,00	0,22	37,49
R273.901.000	PZA	20	0,16	3,20	0,04	0,87				0,00	0,00	0,87	3,20
R274.900.900	m2	110	0,06	6,66	0,09	9,57				0,00	0,00	9,57	6,66
R274.900.800	kg	160	0,04	6,93	0,04	6,08				0,00	0,00	6,08	6,93
M133.830.000	m3	6	19,20	115,20	0,26	1,56				0,00	0,00	1,56	115,20
TOTAL											5.316.532,76	13.461.065,90	

Alternativa N° 2

Energía y Emisiones de CO2 Estimadas CV- Alternativa N° 2													
PARTIDA COVENIN N°	UNIDAD	CANT.	ENERGÍA INCORPORADA (kWh/Unidad)	TOTAL ENERGÍA INCORPORADA (kWh)	EMISIÓN CO2 INCORPORADA (tFeC)(kgCO2/Unidad)	TOTAL EMISIONES CO2 INCORPORADAS (kgCO2)	CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA USO (kWh/MES)	FACTOR DE EMISIÓN CO2 ELECTRICIDAD (tFeC)(kgCO2/kWh)	VIDA ÚTIL (MESES)	TOTAL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA USO (kWh)	TOTAL EMISIONES CO2 POR ELECTRICIDAD (kgCO2)	EMISIONES TOTALES DE CO2 (kgCO2)	ENERGÍA TOTAL (kWh)
U313.100.000	m3	280	3,98	1.114,40	0,78	218,40				0,00	0,00	218,40	1.114,40
U414.308.027	m	315	31,68	9.979,20	16,84	5.304,60				0,00	0,00	5.304,60	9.979,20
U372.000000M	m3	265	1,21	320,65	0,19	50,62				0,00	0,00	50,62	320,65
U332.100.000	m3	15	1,61	24,15	0,26	3,90				0,00	0,00	3,90	24,15
M719.110.180	kg	35	25,17	880,95	6,58	230,23				0,00	0,00	230,23	880,95
M719.210.020	m2	24	41,39	993,31	17,04	408,96				0,00	0,00	408,96	993,31
E712.161.410	PZA	7	227,78	1.594,46	81,70	571,90				0,00	0,00	571,90	1.594,46
E718.111.152	PZA	7	838,00	5.866,00	390,00	2.730,00	2.520,00	0,395	180	453.600,00	179.172,00	181.902,00	459.466,00
Z990.000.152	m2	11	0,07	0,79	0,03	0,34				0,00	0,00	0,34	0,79
M802.305.015	m3	1,7	434,75	739,08	294,28	500,28				0,00	0,00	500,28	739,08
U809.300.000	kg	7	10,72	75,04	2,95	20,65				0,00	0,00	20,65	75,04
R211.310.003	m2	90	0,06	5,67	0,00	0,30				0,00	0,00	0,30	5,67
R910.132.150	m3*m	5	0,21	1,03	0,00	0,02				0,00	0,00	0,02	1,03
E198.020.000	m3	10	1,61	16,10	0,26	2,61				0,00	0,00	2,61	16,10
C098.202.111	m3*km	200	0,78	156,00	0,12	23,48				0,00	0,00	23,48	156,00
R416.112.133	m2	40	8,40	336,00	3,75	150,00				0,00	0,00	150,00	336,00
M437.028.262	m2	60	678,00	40.680,00	341,00	20.460,00				0,00	0,00	20.460,00	40.680,00
M419.511.016	m2	1530	32,50	49.725,00	17,27	26.423,10				0,00	0,00	26.423,10	49.725,00
E483.100.503	m2	40	17,78	711,20	4,25	170,00				0,00	0,00	170,00	711,20
R251.910.301	PZA	30	18,76	562,80	8,53	255,90				0,00	0,00	255,90	562,80
M800.300.5C	Unid.	5	54,01	270,05	24,30	121,50				0,00	0,00	121,50	270,05
R273.901.000	PZA	7	0,16	1,12	0,04	0,30				0,00	0,00	0,30	1,12
R274.900.900	m2	24	0,06	1,45	0,09	2,09				0,00	0,00	2,09	1,45
R274.900.800	kg	35	0,04	1,52	0,04	1,33				0,00	0,00	1,33	1,52
E141.213.019	m	315	0,05	15,75	0,01	3,15				0,00	0,00	3,15	15,75
TOTAL											236.825,65	567.671,71	

Alternativa N° 3

Energía y Emisiones de CO2 Estimadas CV- Alternativa N° 3													
PARTIDA COVENIN N°	UNIDAD	CANT.	ENERGÍA INCORPORADA (MWh/Unidad)	TOTAL ENERGÍA INCORPORADA (MWh)	EMSIÓN CO2 INCORPORADA (tFeD)(kgCO2/Unidad)	TOTAL EMISIONES CO2 INCORPORADAS (kgCO2)	CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA USO (MWh/UE)	FACTOR DE EMISIÓN CO2 ELÉCTRICA (tFeD)(kgCO2/MWh)	VIDA ÚTIL (MESES)	TOTAL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA USO (MWh)	TOTAL EMISIONES CO2 POR ELÉCTRICIDAD (kgCO2)	EMISIONES TOTALES DE CO2 (kgCO2)	ENERGÍA TOTAL (kWh)
E711.113.015	PZA	3	4.628,00	13.884,00	1.812,00	5.436,00	44.730,00	0,395	180	8.051.400,00	3.180.303,00	3.185.739,00	8.065.284,00
M719.110.180	kg	96	25,17	2.416,32	6,58	631,49				0,00	0,00	631,49	2.416,32
M719.210.020	m2	66	41,39	2.731,61	17,04	1.124,64				0,00	0,00	1.124,64	2.731,61
E712.161.410	PZA	9	227,78	2.050,02	81,70	735,30				0,00	0,00	735,30	2.050,02
E713.911.412	PZA	3	227,78	683,34	81,70	245,10				0,00	0,00	245,10	683,34
R.273.401.800	m2	1000	0,06	63,00	0,00	3,33				0,00	0,00	3,33	63,00
E.361.114.100	kg	1350	11,20	15.120,00	3,15	4.252,50				0,00	0,00	4.252,50	15.120,00
E.361.621.100	kg	100	10,72	1.072,00	2,95	295,00				0,00	0,00	295,00	1.072,00
Z.900.000.102	m2	36	0,07	2,59	0,03	1,12				0,00	0,00	1,12	2,59
C.208.721.001	kg	958	10,72	10.269,76	2,95	2.826,10				0,00	0,00	2.826,10	10.269,76
E.611.091.025	m	60	31,68	1.900,80	16,84	1.010,40				0,00	0,00	1.010,40	1.900,80
M.612.081.102	m	30	31,68	950,40	16,84	505,20				0,00	0,00	505,20	950,40
E.328.00015P	m3	42	434,75	18.259,50	294,28	12.359,76				0,00	0,00	12.359,76	18.259,50
R.416.112.133	m2	100	8,40	840,00	3,75	375,00				0,00	0,00	375,00	840,00
M.400.9.C.003	m2	1000	37,50	37.500,00	17,07	17.070,00				0,00	0,00	17.070,00	37.500,00
E.6.C.-	m2	950	66,10	62.795,00	20,22	19.209,00				0,00	0,00	19.209,00	62.795,00
E704.201.134	EQP	2	920,00	1.840,00	410,00	820,00	1.440,00	0,395	180	259.200,00	102.384,00	103.204,00	261.040,00
R.910.132.150	m3*m	5	0,21	1,03	0,00	0,02				0,00	0,00	0,02	1,03
E.136.020.000	m3	10	1,61	16,10	0,26	2,61				0,00	0,00	2,61	16,10
C.038.202.111	m3*km	100	0,78	78,00	0,12	11,74				0,00	0,00	11,74	78,00
R.251.910.301	PZA	1620	18,76	30.391,20	8,53	13.818,60				0,00	0,00	13.818,60	30.391,20
M.800.300.9.C	PZA	10	54,01	540,10	24,30	243,00				0,00	0,00	243,00	540,10
R.273.901.000	PZA	12	0,16	1,92	0,04	0,52				0,00	0,00	0,52	1,92
R.274.900.900	m2	66	0,06	4,00	0,09	5,74				0,00	0,00	5,74	4,00
R.274.900.800	kg	96	0,04	4,16	0,04	3,65				0,00	0,00	3,65	4,16
R.273.401.800	m2	950	0,06	59,85	0,00	3,16				0,00	0,00	3,16	59,85
TOTAL												3.363.675,98	8.514.074,69

ANEXO N° 5 – CALCULO DE HUELLA ECOLÓGICA

Alternativa N° 1

Huella del carbono corporativa		Empresa: Alternativa N° 1		Sugerencias:		MC3 V2.0											
Introducir sólo las casillas en rojo		Año: 2016		Introducción de datos : dic-16		jdomenech@telecabla.es											
CATEGORÍAS DE CONSUMOS	Unidades	Consumo anual				Factor emisión		Huella por tipo de ecosistema, en tCO2						HUELLA TOTAL	CONTRA-HUELLA		
		en unidades de consumo (año)	en euros sin IVA (€/año)	en toneladas (t/año)	[GJ]	en gigajulios (GJ/año)	[tCO2 eq / t comb.]	[tCO2/GJ]	bosques para CO2 (tCO2)	tierra cultivable (tCO2)	pastos (tCO2)	bosques (tCO2)	terreno construido (tCO2)			mar (tCO2)	
1.-EMISIONES DIRECTAS																	
1.1. Combustibles																	
Carbón (antracita) (combustión)	[€]		0,0	0,0	29,45	0,00		0,0973	0,0							0,0	
" (Ciclo de Vida)							0,969		0,0							0,0	
Leña (combustión)	[€]		0,0	0,0	15,60	0,00		0,1120	0,0						0,0	0,0	0,0
" (Ciclo de Vida)							0,122		0,0		0,0				0,0	0,0	0,0
Biomasa de madera	[€]		0,0	0,0	15,60	0,00		0,1120	0,0						0,0	0,0	0,0
" (Ciclo de Vida)							0,122		0,0		0,0				0,0	0,0	0,0
Biomasa (no madera)	[€]		0,0	0,0	11,60	0,00		0,1000	0,0						0,0	0,0	0,0
" (Ciclo de Vida)							0,122		0,0	0,0					0,0	0,0	0,0
Gas natural	[m3]	2,0	0,8	0,0	48,27	0,08		0,0560	0,0						0,0	0,0	0,0
" (Ciclo de Vida)							0,03		0,0						0,0	0,0	0,0
Gasolina 95	[l]	150,0	132,0	0,1	41,00	4,92		0,0690	0,3						0,3	0,0	0,0
" (Ciclo de Vida)							0,69		0,0						0,0	0,0	0,0
Gasolina 98	[l]	0,0	0,0	0,0	41,00	0,00		0,0690	0,0						0,0	0,0	0,0
" (Ciclo de Vida)							0,00		0,0						0,0	0,0	0,0
Gasoil A	[l]	40,0	32,4	0,0	42,40	1,36		0,0737	0,1						0,1	0,0	0,0
" (Ciclo de Vida)							0,22		0,0						0,0	0,0	0,0
Gasoil B	[l]	0,0	0,0	0,0	42,40	0,00		0,0737	0,0						0,0	0,0	0,0
" (Ciclo de Vida)							0,00		0,0						0,0	0,0	0,0
Gasoil C	[l]	0,0	0,0	0,0	42,40	0,00		0,0737	0,0						0,0	0,0	0,0
" (Ciclo de Vida)							0,00		0,0						0,0	0,0	0,0
Fuel	[l]	0,0	0,0	0,0	40,18	0,00		0,0760	0,0						0,0	0,0	0,0
" (Ciclo de Vida)							0,00		0,0						0,0	0,0	0,0
Biodiesel 100% (de cultivos)	[l]	0,0	0,0	0,0	43,00	0,00		0,0741	0,0						0,0	0,0	0,0
" (Ciclo de Vida)							0,00		0,0	0,0					0,0	0,0	0,0
Biodiesel 100% (de aceites usados)	[l]	0,0	0,0	0,0	43,00	0,00		0,0741	0,0						0,0	0,0	0,0
" (Ciclo de Vida)							0,00		0,0	0,0					0,0	0,0	0,0
Bioetanol 100%	[l]	0,0	0,0	0,0	44,30	0,00		0,0693	0,0						0,0	0,0	0,0
" (Ciclo de Vida)							0,00		0,0	0,0					0,0	0,0	0,0
Subtotal 1.1			165,2	0,2		7,3			0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0
2.-EMISIONES INDIRECTAS																	
2.1. Electricidad																	
Térmica (carbón-fuel)	[kWh]	5.384.000	617.706,3	2.193,8	0,0036	64.608,00		0,0973	6.286,4						6.286,4		
" (Ciclo de Vida)							0,969		2.125,8						2.125,8		
Térmica de gas (ciclo combinado)	[kWh]	0	0,0	0,0	0,0036	0,00		0,0560	0,0						0,0		
" (Ciclo de Vida)							0,00		0,0						0,0		
Nuclear (combustión)	[kWh]	0	0,0	0,0	0,0036	0,00		0,0000	0,0						0,0		
" (Ciclo de Vida)									0,0						0,0		
Hidráulica	[kWh]	8.077.000	926.674,2	0,0	0,0036	29.077,20			161,5		1,636				1,6		
" (Ciclo de Vida)									161,5						161,5		
Mini-Hidráulica	[kWh]	0	0,0	0,0	0,0036	0,00			0,000						0,0		
" (Ciclo de Vida)									0,000						0,0		
Cogeneración	[kWh]	66	7,6	0,0	0,0036	0,26		0,0560	0,0						0,0		
" (Ciclo de Vida)							0,08		0,0						0,0		
Eólica	[kWh]		0,0	0,0	0,0036	0,00			0,000						0,0		
" (Ciclo de Vida)									0,000						0,0		
Fotovoltaica	[kWh]	9	1,0	0,0	0,0036	0,03			0,000						0,0		
" (Ciclo de Vida)									0,000						0,0		
Solar térmica	[kWh]	0	0,0	0,0	0,0036	0,00			0,000						0,0		
" (Ciclo de Vida)									0,000						0,0		
Biomasa	[kWh]	0	0,0	0,0	0,0036	0,00		0,1120	0,0						0,0	0,0	0,0
" (Ciclo de Vida)									0,0						0,0	0,0	0,0
Residuos	[kWh]	33	3,8	0,0	0,0036	0,12		0,1000	0,0						0,0	0,0	0,0
" (Ciclo de Vida)									0,0						0,0	0,0	0,0
Subtotal 2.1		9.007,8	1.544.393,0	2.193,8		93.685,7			8.573,7	0,0	1,6	0,0	0,0	0,0	8.575,4	0,0	0,0
Total 2		9.007,8	1.544.393,0	2.193,8		93.685,7			8.573,7	0,0	1,6	0,0	0,0	0,0	8.575,4	0,0	0,0

3.3. Materiales amortizables sin IVA		[GJ/m]											
Materias primas (áridos-mineral en gene)	€	703,8	3,4	0,74	2,53	0,0737	0,2					0,2	
Cemento	€	819,0	6,3	5,39	33,96	0,0737	2,5					2,5	
Ladrillos, cerámica y material refractario	€	10,0	0,0	2,92	0,08	0,0737	0,0					0,0	
Derivados del vidrio	€	50,0	0,1	21,00	1,55	0,0737	0,1					0,1	
Material de porcelana y sanitarios cerám	€	0,0	0,0	50,00	0,00	0,0737	0,0					0,0	
Productos derivados del plástico	€	300,0	0,2	80,00	17,39	0,0737	1,3					1,3	
Material textil sintético semi-elaborado	€	0,0	0,0	100,00	0,00	0,0737	0,0					0,0	
Vestuario y textil sintético confeccionado	€	0,0	0,0	107,80	0,00	0,0737	0,0					0,0	
Combustibles y aceites minerales, bitumi	€	0,0	0,0	41,70	0,00	0,0737	0,0					0,0	
Productos químicos, higiénicos y limpiez	€	0,0	0,0	42,50	0,00	0,0737	0,0					0,0	
Perfumería, cera, betún, pinturas sintética	€	10,0	0,0	100,00	0,32	0,0737	0,0					0,0	
Abonos	€	0,0	0,0	20,98	0,00	0,0737	0,0					0,0	
Productos farmacéuticos	€	0,0	0,0	200,00	0,00	0,0737	0,0					0,0	
Productos básicos del hierro o del acero	€	420,0	0,6	25,00	13,96	0,0737	1,0					1,0	
Productos básicos del cobre o níquel	€	150,0	0,0	60,00	1,53	0,0737	0,1					0,1	
Productos básicos del aluminio y derivad	€	300,0	0,1	205,00	27,86	0,0737	2,1					2,1	
Manufacturas del hierro, acero y otros me	€	280,0	0,1	60,00	3,91	0,0737	0,3					0,3	
Mobiliario y camuajes de hierro o acero y	€	0,0	0,0	100,00	0,00	0,0737	0,0					0,0	
Miscelánea manufacturas, mat. oficina	€	0,0	0,0	75,00	0,00	0,0737	0,0					0,0	
Máquinaria industrial y grandes equipami	€	500,0	0,1	100,00	9,04	0,0737	0,7					0,7	
Aparatos eléctricos comunes, iluminación	€	33.195,0	6,1	100,00	613,69	0,0737	45,2					45,2	
Vehículos transporte (tierra, mar y aire), a	€	700,0	0,1	100,00	13,09	0,0737	1,0					1,0	
Aparatos eléctricos de precisión, ordena	€	120,0	0,0	257,14	10,34	0,0737	0,8					0,8	
Subtotal 3.3		37.557,8	17,2	749,24			55,22	0,00	0,00	0,00	0,00	55,2	0,0
3.4. Materiales amortiz. ("matriz de obras")													
Energía (gasoil)	€	216,3	0,2	42,40	9,06	0,0737	0,7					0,7	
* ciclo de vida					1,45	0,0142	0,0					0,0	
Cemento	€	309,9	2,4	5,39	12,85	0,0737	0,9					0,9	
Productos siderúrgicos	€	336,6	0,4	25,00	11,19	0,0737	0,8					0,8	
Ligantes bituminosos	€	0,0	0,0	2	0,00	0,0737	0,0					0,0	
Ladrillos y refractarios	€	0,0	0,0	2,92	0,00	0,0737	0,0					0,0	
Madera	€	0,0	0,0	5,00	0,00	0,0737	0,0		0,0			0,0	
Cobre	€	54,5	0,0	60	0,88	0,0737	0,1					0,1	
Subtotal 3.4		917,3	3,1	35,43			2,52	0,0	0,0	0,0	0,0	2,5	0,0
3.5. Uso infraestructuras públicas ("matriz de													
Energía (gasoil)	€	0,0	0,0	42,40	0,00	0,0737	0,0					0,0	
* ciclo de vida					0,00	0,0142	0,0					0,0	
Cemento	€	0,0	0,0	5,39	0,00	0,0737	0,0					0,0	
Productos siderúrgicos	€	0,0	0,0	25,00	0,00	0,0737	0,0					0,0	
Ligantes bituminosos	€	0,0	0,0	2	0,00	0,0737	0,0					0,0	
Ladrillos y refractarios	€	0,0	0,0	2,92	0,00	0,0737	0,0					0,0	
Madera	€	0,0	0,0	5,00	0,00	0,0737	0,0		0,0			0,0	
Cobre	€	0,0	0,0	60	0,00	0,0737	0,0					0,0	
Subtotal 3.5		0,0	0,0	0,00			0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Total 3		38.475,1	20,3	784,7			57,7	0,0	0,0	0,0	0,0	57,7	0,0
4.3. Servicios de transporte de personas													
Taxi	€	0,0	0,0	42,40	0,00	0,0737	0,0					0,0	
Tren	€	0,0	0,0	42,40	0,00	0,0737	0,0					0,0	
Avión	€	0,0	0,0	42,40	0,00	0,0737	0,0					0,0	
Barco nacional	€	0,0	0,0	42,40	0,00	0,0760	0,0					0,0	
				[GJ/vKm]									
Taxi	vK/m	320,0			0,70	0,0737	0,1					0,1	
* (Ciclo de Vida)					0,11	0,0142	0,0					0,0	
Tren	vK/m	0,0		0,00035	0,00	0,0737	0,0					0,0	
* (Ciclo de Vida)					0,00	0,0142	0,0					0,0	
Avión	vK/m	0,0		0,00980	0,00	0,0737	0,0					0,0	
* (Ciclo de Vida)					0,00	0,0142	0,0					0,0	
Barco nacional	vK/m	0,0		0,00135	0,00	0,0760	0,0					0,0	
* (Ciclo de Vida)					0,00	0,0125	0,0					0,0	
Subtotal 4.3		320,0	0,0	0,0	0,8		0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
4.4. Servicios de transporte de mercancías													
Furgonetas y similares	€	0,0	0,0	42,40	0,00	0,0737	0,0					0,0	
Camiones	€	0,0	0,0	42,40	0,00	0,0737	0,0					0,0	
Ferrocarril	€	0,0	0,0	42,40	0,00	0,0737	0,0					0,0	
Avión	€	0,0	0,0	42,40	0,00	0,0737	0,0					0,0	
Buque nacional (portacontenedores)	€	0,0	0,0	42,40	0,00	0,0760	0,0					0,0	
Buque internacional (portacontenedores)	€	0,0	0,0	42,40	0,00	0,0760	0,0					0,0	
				[GJ/tK/m]									
Furgonetas y similares	tK/m	0,0		0,00540	0,00	0,0737	0,0					0,0	
* (Ciclo de Vida)					0,00	0,0142	0,0					0,0	
Camiones	tK/m	3.080,0		0,00120	3,70	0,0737	0,3					0,3	
* (Ciclo de Vida)					0,59	0,0142	0,0					0,0	
Ferrocarril	tK/m	0,0		0,00030	0,00	0,0737	0,0					0,0	
* (Ciclo de Vida)					0,00	0,0142	0,0					0,0	
Avión	tK/m	0,0		0,03157	0,00	0,0737	0,0					0,0	
* (Ciclo de Vida)					0,00	0,0142	0,0					0,0	
Buque nacional	tK/m	0,0		0,00040	0,00	0,0760	0,0					0,0	
* (Ciclo de Vida)					0,00	0,0125	0,0					0,0	
Buque internacional	tK/m	0,0		0,00020	0,00	0,0760	0,0					0,0	
* (Ciclo de Vida)					0,00	0,0125	0,0					0,0	
Subtotal 4.4		3.080,0	0,0	0,0	4,3		0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0
4.5. Uso de infraestructuras públicas													
IVA declarado	€	0,0										0,0	
Impuesto sociedades	€	0,0										0,0	
Otros impuestos o tributos	€	0,0										0,0	
Multas y sanciones	€	0,0										0,0	
Subtotal 4.5		0,0						0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Total 4		0,0	0,0		5,1		0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0
6. RECURSOS FORESTALES													
Trozas de madera, puntales, pilotes, estit	€	22,0	0,07	5,00	0,33	0,0737	0,0			0,2		0,2	0,0
Madera cortada, aserrada, cepillada	€	800,0	2,41	10,00	24,15	0,0737	1,8			7,4		9,2	0,0
Chapas de madera	€	0,0	0,00	15,00	0,00	0,0737	0,0			0,0		0,0	0,0
Madera contrachapada, paneles	€	0,0	0,00	20,00	0,00	0,0737	0,0			0,0		0,0	0,0
Artic. manufact. de madera (no muebles)	€	0,0	0,00	30,00	0,00	0,0737	0,0			0,0		0,0	0,0
Mobiliario con base principal de madera	€	0,0	0,00	100,00	0,00	0,0737	0,0			0,0		0,0	0,0
Pasta de madera u otras fibras celulósic	€	0,0	0,00	31,14	0,00	0,0737	0,0			0,0		0,0	0,0
Papel, cartón y sus manufacturas	€	0,0	0,00	35,00	0,00	0,0737	0,0			0,0		0,0	0,0
Papel, cartón y sus manufacturas reciclac	€	0,0	0,00	17,50	0,00	0,0737	0,0			0,0		0,0	0,0
Productos editoriales, prensa e industria	€	0,0	0,00	35,00	0,00	0,0737	0,0			0,0		0,0	0,0
Productos editoriales en papel reciclado	€	0,0	0,00	17,50	0,00	0,0737	0,0			0,0		0,0	0,0
Manufacturas del corcho	€	0,0	0,00	15,00	0,00	0,0737	0,0			0,0		0,0	0,0
Manufacturas del caucho natural	€	0,0	0,00	89,16	0,00	0,0737	0,0			0,0		0,0	0,0
Total 6		822,0	2,5		24,5		1,8	0,0	0,0	7,6	0,0	9,4	0,0

9. RESIDUOS, VERTIDOS Y EMISIONES												
9.1. Residuos no peligrosos												
.Residuos urbanos y asimilables (vertedo	[t]		0,0			0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
.Residuos urbanos y asimilables (inciner	[t]											
.Orgánicos (alimentos)	[t]		0,0			0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
.Papel y cartón	[t]		0,0			0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
.Envases ligeros (plástico, latas, brik)	[t]		0,0			0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
.Vidrio	[t]		0,0			0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
.Residuos de construcción y demolición	[t]		220,0			0,511	0,000	0,000	0,023	0,099	0,000	0,0
9.2. Residuos peligrosos												
.Aceites usados	[t]		0,0			0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
.Emulsiones agua/aceite	[t]		0,0			0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
.Ácidos alcalinos o salinos	[t]		0,0			0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
.Sanitarios y MER	[t]		0,0			0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
.Filtros de aceite	[t]		0,0			0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
.Absorbentes usados	[t]		0,0			0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
.Pinturas, barnices, alquitranes, químicos	[t]		0,1			0,020	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,0
.Pilas	[t]		0,0			0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
.Disolventes	[t]		0,0			0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
.Taladrinas	[t]		0,0			0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
.Baterías	[t]		0,0			0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
.RAEE (residuos de aparatos eléctricos y e	[t]		0,1			0,005	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,0
.Envases contaminados (incluye metálico)	[t]		0,0			0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0
9.3. Residuos radiactivos												
Subtotal 9.1 / 9.2 / 9.3												
			220,2			0,5	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,7 0,0
9.5. Emisiones												
9.5.1. Gases GEI Protocolo Kioto												
.CH ₄ (metano)	[t]		0,64631		21							13,6
.N ₂ O (óxido nitroso)	[t]		0,09692		310							30,0
.HFCs (hidrofluorocarbonos)	[t]		0,00000		11,700							0,0
.PFCs (perfluorocarbonos)	[t]		0,00000		6,500							0,0
.SF ₆ (hexafluoruro de azufre)	[t]		0,00000		23,900							0,0
9.5.2. Otros GEI o precursores												
.CFC 11 (clorofluorocarbonos 11)	[t]		0,00000									0,0
.NOx (óxidos de nitrógeno)	[t]		0,00000									0,0
.CO (monóxido de carbono)	[t]		0,00000		3,00							0,0
.O ₃ (ozono)	[t]		0,00000									0,0
.HCs (Hidrocarburos totales sin metano)	[t]		0,00000		12,00							0,0
9.5.3. Otras emisiones atmosféricas												
.SO ₂ (dióxido de azufre)	[t]		0,00000									0,0
.COV (compuestos orgánicos volátiles)	[t]		0,00000									0,0
.COP (compuestos orgánicos persistente)	[t]		0,00000									0,0
.Metales pesados	[t]		0,00000									0,0
.PM-CE (material particulado-hollin)	[t]		0,0		680,00							0,0
Subtotal 9.5												
			0,7			43,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	43,6 0,0
Total 9												
			220,9			44,2	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	44,3 0,0
Otros totales												
		1.583.855,2	2.216,7		94.507,2							
TOTAL tCO₂ (HC bruta) [tCO₂]												
						8.678,2	0,0	1,6	7,7	0,3	0,0	8.687,9 0,0
HC neta												
												8.687,9

Alternativa N° 2

Huella del carbono corporativa
Introducir sólo las casillas en rojo

Empresa: Alternativa N° 2
Año: 2016 Introducción de datos : dic-16

Sugerencias:
jdomenech@telcable.es

MC3 V2.0

CATEGORÍAS DE CONSUMOS	Unidades	Consumo anual				Factor emisión		Huella por tipo de ecosistema, en tCO2						HUELLA TOTAL [tCO2]	CONTRA-HUELLA [tCO2]		
		en unidades de consumo (ed. año)	en euros sin IVA (€ año)	en toneladas (t año)	[GJ/a]	en gigajulios (GJ/año)	[t CO2 eq / t comb.]	[tCO2/GJ]	bosques para CO2 [tCO2]	tierra cultivable [tCO2]	pastos [tCO2]	bosques [tCO2]	terreno construido [tCO2]			mar [tCO2]	
1.-EMISIONES DIRECTAS																	
1.1. Combustibles																	
Carbón (antracita) (combustión)	[€]		0,0	0,0	Poder calor, 29,45	0,00		0,0973	0,0							0,0	
*(Ciclo de Vida)								0,969								0,0	
Leña (combustión)	[€]		0,0	0,0	15,60	0,00		0,1120	0,0						0,0	0,0	
*(Ciclo de Vida)								0,122			0,0				0,0	0,0	
Biomasa de madera	[€]		0,0	0,0	15,60	0,00		0,1120	0,0				0,0		0,0	0,0	
*(Ciclo de Vida)								0,122			0,0		0,0		0,0	0,0	
Biomasa (no madera)	[€]		0,0	0,0	11,60	0,00		0,1000	0,0						0,0	0,0	
*(Ciclo de Vida)								0,122		0,0					0,0	0,0	
Gas natural	[m3]	2,0	0,8	0,0	48,27	0,08		0,0560	0,0						0,0	0,0	
*(Ciclo de Vida)						0,03		0,0130	0,0						0,0	0,0	
Gasolina 95	[l]	150,0	132,0	0,1	41,00	4,92		0,0690	0,3						0,3	0,0	
*(Ciclo de Vida)						0,69		0,0125	0,0						0,0	0,0	
Gasolina 98	[l]	0,0	0,0	0,0	41,00	0,00		0,0690	0,0						0,0	0,0	
*(Ciclo de Vida)						0,00		0,0125	0,0						0,0	0,0	
Gasoil A	[l]	40,0	32,4	0,0	42,40	1,36		0,0737	0,1						0,1	0,0	
*(Ciclo de Vida)						0,22		0,0142	0,0						0,0	0,0	
Gasoil B	[l]	0,0	0,0	0,0	42,40	0,00		0,0737	0,0						0,0	0,0	
*(Ciclo de Vida)						0,00		0,0142	0,0						0,0	0,0	
Gasoil C	[l]	0,0	0,0	0,0	42,40	0,00		0,0737	0,0						0,0	0,0	
*(Ciclo de Vida)						0,00		0,0142	0,0						0,0	0,0	
Fuel	[l]	0,0	0,0	0,0	40,18	0,00		0,0760	0,0						0,0	0,0	
*(Ciclo de Vida)						0,00		0,0125	0,0						0,0	0,0	
Biodiesel 100% (de cultivos)	[l]	0,0	0,0	0,0	43,00	0,00		0,0741	0,0						0,0	0,0	
*(Ciclo de Vida)						0,00		0,0555	0,0	0,0					0,0	0,0	
Biodiesel 100% (de aceites usados)	[l]	0,0	0,0	0,0	43,00	0,00		0,0741	0,0						0,0	0,0	
*(Ciclo de Vida)						0,00		0,0278	0,0	0,0					0,0	0,0	
Bioetanol 100%	[l]	0,0	0,0	0,0	44,30	0,00		0,0693	0,0						0,0	0,0	
*(Ciclo de Vida)						0,00		0,0189	0,0	0,0					0,0	0,0	
Subtotal 1.1			165,2	0,2		7,3			0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0
2.-EMISIONES INDIRECTAS																	
2.1. Electricidad																	
Térmica (carbón-fuel)	[kWh]	227.000	26.043,7	92,5	0,0036	2.724,00		0,0973	265,0						265,0	0,0	
*(Ciclo de Vida)								0,969	89,6						89,6	0,0	
Térmica de gas (ciclo combinado)	[kWh]	0	0,0	0,0	0,0036	0,00		0,0560	0,0						0,0	0,0	
*(Ciclo de Vida)								0,0130	0,0						0,0	0,0	
Nuclear (combustión)	[kWh]	0	0,0	0,0	0,0036	0,00		0,0000	0,0						0,0	0,0	
*(Ciclo de Vida)									0,0						0,0	0,0	
Hidráulica	[kWh]	340.600	39.077,0	0,0	0,0036	1.226,16					0,069				0,1	0,0	
*(Ciclo de Vida)									6,8						6,8	0,0	
Mini-Hidráulica	[kWh]	0	0,0	0,0	0,0036	0,00				0,000					0,0	0,0	
*(Ciclo de Vida)									0,0						0,0	0,0	
Cogeneración	[kWh]	72	8,3	0,0	0,0036	0,29		0,0560	0,0						0,0	0,0	
*(Ciclo de Vida)						0,09		0,0130	0,0						0,0	0,0	
Eólica	[kWh]		0,0	0,0	0,0036	0,00					0,000				0,0	0,0	
*(Ciclo de Vida)									0,0						0,0	0,0	
Fotovoltaica	[kWh]	10	1,1	0,0	0,0036	0,03					0,000				0,0	0,0	
*(Ciclo de Vida)									0,0						0,0	0,0	
Solar térmica	[kWh]	0	0,0	0,0	0,0036	0,00					0,000				0,0	0,0	
*(Ciclo de Vida)									0,0						0,0	0,0	
Biomasa	[kWh]	0	0,0	0,0	0,0036	0,00		0,1120	0,0			0,0			0,0	0,0	
*(Ciclo de Vida)									0,0			0,0			0,0	0,0	
Residuos	[kWh]	33	3,8	0,0	0,0036	0,12		0,1000	0,0						0,0	0,0	
*(Ciclo de Vida)									0,0						0,0	0,0	
Subtotal 2.1		9.078,0	65.133,9	92,5		3.950,7			361,5	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	361,6	0,0	
Total 2		9.078,0	65.133,9	92,5		3.950,7			361,5	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	361,6	0,0	

3.3. Materiales amortizables sin IVA				[GJ]															
Materias primas (áridos-mineral en gene)	€	0,0	0,0	0,74	0,00	0,0737	0,0											0,0	
Cemento	€	590,0	4,5	5,39	24,46	0,0737	1,8											1,8	
Ladrillos, cerámica y material refractario	€	10,0	0,0	2,92	0,08	0,0737	0,0											0,0	
Derivados del vidrio	€	3.250,0	4,8	21,00	101,00	0,0737	7,4											7,4	
Material de porcelana y sanitarios cerám	€	0,0	0,0	50,00	0,00	0,0737	0,0											0,0	
Productos derivados del plástico	€	11.876,0	8,6	80,00	688,36	0,0737	50,7											50,7	
Material textil sintético semi-elaborado	€	0,0	0,0	100,00	0,00	0,0737	0,0											0,0	
Vestuario y textil sintético confeccionado	€	0,0	0,0	107,80	0,00	0,0737	0,0											0,0	
Combustibles y aceites minerales, bitumi	€	0,0	0,0	41,70	0,00	0,0737	0,0											0,0	
Productos químicos, higiénicos y limpiez	€	0,0	0,0	42,50	0,00	0,0737	0,0											0,0	
Perfumería, cera, betún, pinturas sintética	€	10,0	0,0	100,00	0,32	0,0737	0,0											0,0	
Abonos	€	0,0	0,0	20,98	0,00	0,0737	0,0											0,0	
Productos farmacéuticos	€	0,0	0,0	200,00	0,00	0,0737	0,0											0,0	
Productos básicos del hierro o del acero	€	70,0	0,1	25,00	2,33	0,0737	0,2											0,2	
Productos básicos del cobre o níquel	€	100,0	0,0	60,00	1,02	0,0737	0,1											0,1	
Productos básicos del aluminio y derivad	€	150,0	0,1	205,00	13,93	0,0737	1,0											1,0	
Manufacturas del hierro, acero y otros me	€	35,0	0,0	60,00	0,49	0,0737	0,0											0,0	
Mobiliario y carrajes de hierro o acero y	€	0,0	0,0	100,00	0,00	0,0737	0,0											0,0	
Miscelánea manufacturas, mat. oficina	€	0,0	0,0	75,00	0,00	0,0737	0,0											0,0	
Maquinaría industrial y grandes equipam	€	1.833,0	0,3	100,00	33,13	0,0737	2,4											2,4	
Aparatos eléctricos comunes, iluminación	€	4.858,0	0,9	100,00	39,81	0,0737	6,6											6,6	
Vehículos transporte (tierra, mar y aire), a	€	700,0	0,1	100,00	13,09	0,0737	1,0											1,0	
Aparatos eléctricos de precisión, ordena	€	80,0	0,0	257,14	6,89	0,0737	0,5											0,5	
Subtotal 3.3		23.562,0	19,6		974,91		71,85	0,00	71,9	0,0									
3.4. Materiales amortiz. ("matriz de obras")																			
Energía (gasoil)	€	2.541,7	2,5	42,40	106,44	0,0737	7,8											7,8	
* ciclo de vida					17,03	0,0142	0,2											0,2	
Cemento	€	196,5	1,5	5,39	8,15	0,0737	0,6											0,6	
Productos siderúrgicos	€	116,8	0,2	25,00	3,88	0,0737	0,3											0,3	
Ligantes bituminosos	€	0,0	0,0	2	0,00	0,0737	0,0											0,0	
Ladrillos y refractarios	€	0,0	0,0	2,92	0,00	0,0737	0,0											0,0	
Madera	€	0,0	0,0	5,00	0,00	0,0737	0,0			0,0								0,0	
Cobre	€	54,5	0,0	60	0,88	0,0737	0,1											0,1	
Subtotal 3.4		2.909,6	4,2		136,39		9,04	0,0	9,0	0,0									
3.5. Uso infraestructuras públicas ("matriz de																			
Energía (gasoil)	€	0,0	0,0	42,40	0,00	0,0737	0,0											0,0	
* ciclo de vida					0,00	0,0142	0,0											0,0	
Cemento	€	0,0	0,0	5,39	0,00	0,0737	0,0											0,0	
Productos siderúrgicos	€	0,0	0,0	25,00	0,00	0,0737	0,0											0,0	
Ligantes bituminosos	€	0,0	0,0	2	0,00	0,0737	0,0											0,0	
Ladrillos y refractarios	€	0,0	0,0	2,92	0,00	0,0737	0,0											0,0	
Madera	€	0,0	0,0	5,00	0,00	0,0737	0,0			0,0								0,0	
Cobre	€	0,0	0,0	60	0,00	0,0737	0,0											0,0	
Subtotal 3.5		0,0	0,0		0,00		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Total 3		26.471,6	23,7		1.111,3		80,9	0,0	80,9	0,0									
4.- SERVICIOS Y CONTRATAS Poder calor.																			
4.1. Servicios con baja movilidad																			
Servicios externos de oficina, asesorías,	€	1.000,0	0,0	42,40	1,68	0,0737	0,1											0,1	
Servicios de oficina de alto valor añadid	€	0,0	0,0	42,40	0,00	0,0737	0,0											0,0	
Servicios de hospedería, hoteles	€	0,0	0,0	42,40	0,00	0,0737	0,0											0,0	
Telefonía (total fijos y móviles)	€	0,0	0,0	42,40	0,00	0,0737	0,0											0,0	
Servicios médicos	€	0,0	0,0	42,40	0,00	0,0737	0,0											0,0	
Servicios culturales, sociales, ocio, cooper	€	0,0	0,0	42,40	0,00	0,0737	0,0											0,0	
Formación externa	€	0,0	0,0	42,40	0,00	0,0737	0,0											0,0	
Servicios interiores de limpieza, mantene	€	0,0	0,0	42,40	0,00	0,0737	0,0											0,0	
Alquileres polígonos industr., dominio pú	€	0,0	0,0	42,40	0,00	0,0737	0,0											0,0	
Alquileres centros comerciales y comuni	€	0,0	0,0	42,40	0,00	0,0737	0,0											0,0	
Subtotal 4.1		1.000,0	0,0		1,7		0,1	0,0	0,1	0,0									
4.2. Servicios con alta movilidad																			
Servicios exteriores de limpieza, manteni	€	9.300,0	1,4	42,40	60,37	0,0737	4,4											4,4	
Correo, paquetería, mensajería	€	0,0	0,0	42,40	0,00	0,0737	0,0											0,0	
Subtotal 4.2		9.300,0	1,4		60,4		4,4	0,0	4,4	0,0									
4.2. Servicios con alta movilidad																			
Servicios exteriores de limpieza, manteni	€	9.300,0	1,4	42,40	60,37	0,0737	4,4											4,4	
Correo, paquetería, mensajería	€	0,0	0,0	42,40	0,00	0,0737	0,0											0,0	
Subtotal 4.2		9.300,0	1,4		60,4		4,4	0,0	4,4	0,0									
4.3. Servicios de transporte de personas																			
Taxi	€	0,0	0,0	42,40	0,00	0,0737	0,0											0,0	
Tren	€	0,0	0,0	42,40	0,00	0,0737	0,0											0,0	
Avión	€	0,0	0,0	42,40	0,00	0,0737	0,0											0,0	
Barco nacional	€	0,0	0,0	42,40	0,00	0,0760	0,0											0,0	
Taxi	[vKm]	320,0			0,70	0,0737	0,1											0,1	
* (Ciclo de Vida)					0,11	0,0142	0,0											0,0	
Tren	[vKm]	0,0			0,00035	0,0737	0,0											0,0	
* (Ciclo de Vida)					0,00	0,0142	0,0											0,0	
Avión	[vKm]	0,0			0,00980	0,0737	0,0											0,0	
* (Ciclo de Vida)					0,00	0,0142	0,0											0,0	
Barco nacional	[vKm]	0,0			0,00135	0,0760	0,0											0,0	
* (Ciclo de Vida)					0,00	0,0126	0,0											0,0	
Subtotal 4.3		320,0	0,0	0,0	0,8		0,1	0,0	0,1	0,0									

9.5.1. Gases GEI Protocolo Kioto															
.CH ₄ (metano)	[t]		0,40953					2,34				2,3			
.N ₂ O (óxido nítrico)	[t]		0,06135					5,18				5,2			
.HFCs (hidrofluorocarbonos)	[t]		0,00000					0,00				0,0			
.PFCs (perfluorocarbonos)	[t]		0,00000					0,00				0,0			
.SF ₆ (hexafluoruro de azufre)	[t]		0,00000					0,00				0,0			
9.5.2. Otros GEI															
.CFC 11 (clorofluorocarbonos 11)	[t]		0,00000					0,00				0,0			
.NOx (óxidos de nitrógeno)	[t]		0,00000					0,00				0,0			
.CO (monóxido de carbono)	[t]		0,00000					0,00				0,0			
.O ₃ (ozono)	[t]		0,00000					0,00				0,0			
.HCs (Hidrocarburos totales sin metano)	[t]		0,00000					0,00				0,0			
9.5.3. Otras emisiones atmosféricas															
.SO ₂ (dióxido de azufre)	[t]		0,00000					0,00				0,0			
.COV (compuestos orgánicos volátiles)	[t]		0,00000					0,00				0,0			
.COP (compuestos orgánicos persistente)	[t]		0,00000					0,00				0,0			
.Metales pesados	[t]		0,00000					0,00				0,0			
.PM-CE (material particulado-hollín)	[t]		0,00000					0,00				0,0			
Subtotal 9								7,5	0,0	0,0	0,0	0,0	7,5		
" (ha * FE)								10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	0,0	
Total 9								7,8	0,0	0,0	0,0	0,1	7,9		
" (ha * FE)								10,4	0,0	0,0	0,0	0,3	10,7	0,0	
TOTAL ha	[ha]							1.537,3	0,0	1,2	10,8	0,3	0,0	1.549,7	
TOTAL ha * FE	[ha*fe]							2.044,7	0,0	0,6	14,3	0,8	0,0	2.060,4	
TOTAL ha * FE * FR (HE bruta)	ha*fe*fr							2.044,7	0,0	0,6	14,3	0,7	0,0	2.060,3	0,0
													HE neta	2.060,3	

ANEXO N° 6 – ESTRUCTURA DE COSTOS CV

Alternativa N° 1

Estructura de Costos CV- Alternativa N° 1							
N°	COVENIN	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT.	P. UNITARIO	TOTAL (Bs)	TOTAL USD (\$)*
1	E.711.113.015	SISTEMA COMPACTO EXPANSIÓN DIRECTA DE AIRE ACONDICIONADO TIPO HORIZONTAL, CAPACIDAD 7 T.R. 90000 BTU. INCLUYE EL TRANSPORTE E INSTALACIÓN. NO INCLUYE BASE DE CONCRETO, NI DUCTO DE SUMINISTRO Y RETORNO	PZA	5	15.270.364,60	76.351.823,00	35.512,48
2	M.719.110.180	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE DUCTOS DE AIRE ACONDICIONADO Y VENTILACIÓN FORZADA, ELABORADOS EN LAMINAS DE ACERO GALVANIZADO, CALIBRE 22 A 26 INCLUYE EL TRANSPORTE.	kg	160	19.484,20	3.117.472,00	1.449,99
3	M.719.210.020	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE AISLAMIENTO PARA DUCTOS DE AIRE ACONDICIONADO DE SUMINISTRO Y RETORNO. ESPESOR 1"	m2	110	26.324,62	2.895.708,20	1.346,84
4	E.712.161.410	SUMINISTRO, TRANSPORTE E INSTALACIÓN DE DIFUSOR DE AIRE RECTANGULAR CON ALETAS RECTAS DE 14"x10", 2 VÍAS EN ALUMINIO ANODIZADO, SIN CONTROL DE VOLUMEN.	PZA	15	85.580,45	1.283.706,75	597,07
5	E.713.511.412	SUMINISTRO, TRANSPORTE E INSTALACIÓN DE REJILLA DE RETORNO O EXTRACCIÓN DE 14"x12", EN ALUMINIO ANODIZADO, SIN CONTROL DE VOLUMEN	PZA	5	72.205,17	361.025,85	167,92
6	E.801.200.000	CONSTRUCCIÓN DE BASES Y SUB-BASES DE PIEDRA PICADA.	m3	2	145.475,92	290.951,84	135,33
7	E.341.010.114	ENCOFRADO DE MADERA TIPO RECTO, ACABADO CORRIENTE EN BASES DE PAVIMENTO Y LOSAS DE FUNDACIÓN.	m2	32	55.225,65	1.767.220,80	821,96
8	C.208.721.001	SUMINISTRO, TRANSPORTE, PREPARACIÓN Y COLOCACIÓN DE ACERO DE REFUERZO DE RAT=2100 kg/cm ² UTILIZANDO CABILLAS DE DIÁMETRO IGUAL O INFERIOR A 1/2", PARA LA CONSTRUCCIÓN DE BROCALES, CUNETAS, ACERAS Y BASES	kg	280	4.304,13	1.205.156,40	560,54
9	E.328.000115P	CONCRETO PREMEZCLADO DE f'c=150 Kgf/cm ² A LOS 28 DÍAS, ACABADO CORRIENTE, PARA LA CONSTRUCCIÓN DE BASE DE PAVIMENTO.	m3	3	597.889,90	1.793.669,70	834,26
10	R.910.132.150	A CARREO DE ESCOMBROS CON USO DE CARRETELLAS, DESDE EL PIE DE OBRA HASTA SITIO DEFINITIVO DE CARGA A DISTANCIAS ENTRE 10 Y 50m CON PENDIENTES DE 0-15% INCLUSIVE. INCLUYE CARGA Y DESCARGA	m3*m	65	1.554,93	101.070,45	47,01
11	E.136.020.000	CARGA CON EQUIPO LIVIANO DE MATERIAL PROVENIENTE DE LAS DEMOLICIONES O PREPARACIÓN DEL SITIO	m3	15	6.418,69	96.280,35	44,78
12	C.038.202.111	TRANSPORTE MONTAÑOSO EN CAMIONES DE CUALQUIER TIPO DE MATERIAL PROVENIENTE DE LA PREPARACIÓN DEL SITIO (DEMOLICIONES), MEDIDO EN ESTADO SUELTO, A DISTANCIAS MAYORES A 20km	m3*km	110	1.101,18	121.129,80	56,34

13	R.251.910.300	LIMPIEZA Y AJUSTE EQUIPO AA (MANTENIMIENTO)	PZA	25	29.505,27	737.631,75	343,08	
14	M.800.300.S/C	LIMPIEZA Y MANTENIMIENTO DE SUMIDROS DE REJILLA (ANCHO MAX. 0.80 m LONG.MAX. 10 m)	Unid.	9	1.470.325,37	13.232.928,33	6.154,85	
15	R.273.930.009	DESMONTAJE DE UNIDAD DE AIRE ACONDICIONADO TIPO COMPACTO HASTA 15 TON. INCLUYE MOVILIZACIÓN INTERNA. EXCLUYE DESMONTAJE DE SISTEMA ELÉCTRICO O DUCTERIA.	PZA	5	449.773,01	2.248.865,05	1.045,98	
16	R.273.901.000	REMOCIÓN DE REJILLAS DE AIRE ACONDICIONADO HASTA ÁREA=0.5m2. INCLUYE MOVILIZACIÓN DENTRO DEL ÁREA DE TRABAJO	PZA	20	2.758,97	55.179,40	25,66	
17	R.274.900.900	REMOCIÓN SIN RECUPERACIÓN DE MATERIAL AISLANTE TÉRMICO DE FIBRA DE VIDRIO EN DUCTERIA DE AIRE ACONDICIONADO	m2	110	3.633,42	399.676,20	185,90	
18	R.274.900.800	REMOCIÓN SIN RECUPERACIÓN DE DUCTERIA GALVANIZADA CALIBRE DESDE 24 A 20 INCLUYE MOVILIZACIÓN DENTRO DEL ÁREA DE TRABAJO.	kg	160	1.052,82	168.451,20	78,35	
19	M.133.630.000	DEMOLICIÓN DE BASES Y SUB-BASES CON EQUIPO PESADO	m3	6	27.582,15	165.492,90	76,97	
Sub-Total						106.393.439,97	49.485,32	
I.V.A (11,00 %)						11.703.278,40	5.443,39	
* Tipo de cambio vigente 2.150,00 Bs/s						Total	Bs.118.096.718,37	
COSTO INICIAL						Sub-Total	89.225.974,84	41.500,45
						I.V.A (11,00 %)	9.814.857,23	4.565,05
						Total	Bs.99.040.832,07	\$46.065,50
COSTO MANTENIMIENTO						Sub-Total	13.970.560,08	6.497,93
						I.V.A (11,00 %)	1.536.761,61	714,77
						Total	Bs.15.507.321,69	\$7.212,71
COSTO DISPOSICIÓN FINAL						Sub-Total	3.196.905,05	1.486,93
						I.V.A (11,00 %)	351.659,56	163,56
						Total	Bs.3.548.564,61	\$1.650,50
TOTAL						Bs.118.096.718,37	\$54.928,71	

Alternativa N° 2

Estructura de Costos CV- Alternativa N° 2							
N°	COVENIN	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT.	P. UNITARIO	TOTAL (Bs)	TOTAL USD (\$)*
1	U.313.100.000	EXCAVACIÓN EN TIERRA CON USO DE EQUIPO RETROEXCAVADOR PARA FUNDACIONES Y ZANJAS. INCLUYE REPERFILAMIENTO A MANO	m3	280	14.081,58	3.942.842,40	1.833,88
2	U.414.326.027	SUMINISTRO, TRANSPORTE Y COLOCACIÓN DE TUBERÍA DE PVC, CLASE AB, D=8" 200mm E-JA	m	315	81.056,54	25.532.810,10	11.875,73
3	U.372.000000M	COMPACTACIÓN DE RELLENOS CON A PISONADORES DE PERCUSIÓN MANUAL, CORRESPONDIENTE A LAS FUNDACIONES Y ZANJAS.	m3	265	24.079,15	6.380.974,75	2.967,90
4	U.332.100.000	CARGA CON EQUIPO LIVIANO DE MATERIAL PROVENIENTE DE LAS EXCAVACIONES DE FUNDACIONES Y ZANJAS.	m3	15	6.418,69	96.280,35	44,78
5	M.719.110.180	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE DUCTOS DE AIRE ACONDICIONADO Y VENTILACIÓN FORZADA, ELABORADOS EN LAMINAS DE ACERO GALVANIZADO, CALIBRE 22 A 26 INCLUYE EL TRANSPORTE.	kg	35	19.484,20	681.947,00	317,18
6	M.719.210.020	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE AISLAMIENTO PARA DUCTOS DE AIRE ACONDICIONADO DE SUMINISTRO Y RETORNO. ESPESOR 1"	m2	24	26.324,62	631.790,88	293,86
7	E.712.161.410	SUMINISTRO, TRANSPORTE E INSTALACIÓN DE DIFUSOR DE AIRE RECTANGULAR CON ALETAS RECTAS DE 14"x10", 2 VÍAS EN ALUMINIO ANODIZADO, SIN CONTROL DE VOLUMEN.	PZA	7	85.580,45	599.063,15	278,63
8	E.718.111.152	SUMINISTRO, TRANSPORTE E INSTALACIÓN DE VENTILADOR AIRE HELICOIDAL EN PARED CON DESCARGA AL AMBIENTE, ASPA DE 18", 1/2 HP 1075 rpm 1 FASE.	PZA	7	1.491.953,62	10.443.675,34	4.857,52
9	Z.990.000.102	ENCOFRADO DE MADERA, TIPO RECTO, ACABADO CORRIENTE, EN ALCANTARILLA DE CAJÓN, CABEZALES DE ALCANTARILLAS, TANQUILLA, B.de.V	m2	11	79.599,00	875.589,00	407,25
10	M.802.305.015	CONCRETO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE TANQUILLAS, FC 150 k/cm2 CORRESPONDIENTE A OBRAS DE SERVICIO.	m3	1,7	745.189,66	1.266.822,42	589,22
11	U.809.300.000	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE TAPA DE HIERRO PARA TANQUILLA.	kg	7	3.891,14	27.237,98	12,67
12	R.211.310.003	DEMOLICIÓN A MANO DE PARED. ESPESORES DE 11 A 15cm DE BLOQUES HUECOS INCLUYE MOVILIZACIÓN INTERNA DENTRO DEL ÁREA DE TRABAJO.	m2	90	16.714,51	1.504.305,90	699,68
13	R.910.132.150	A CARREO DE ESCOMBROS CON USO DE CARRETELLAS, DESDE EL PIE DE OBRA HASTA SITIO DEFINITIVO O DE CARGA A DISTANCIAS ENTRE 10 Y 50m CON PENDIENTES DE 0-15% INCLUSIVE. INCLUYE CARGA Y DESCARGA	m3*m	5	1.554,93	7.774,65	3,62
14	E.136.020.000	CARGA CON EQUIPO LIVIANO DE MATERIAL PROVENIENTE DE LAS DEMOLICIONES O PREPARACIÓN DEL SITIO	m3	10	6.418,69	64.186,90	29,85
15	C.038.202.111	TRANSPORTE MONTAÑOSO EN CAMIONES DE CUALQUIER TIPO DE MATERIAL PROVENIENTE DE LA PREPARACIÓN DEL SITIO (DEMOLICIONES), MEDIDO EN ESTADO SUELTO, A DISTANCIAS MAYORES A 20km	m3*km	200	1.101,18	220.236,00	102,44
16	R.416.112.133	CONSTRUCCIÓN DE PAREDES DE BLOQUES DE CONCRETO, ACABADO CORRIENTE, e=10cm PARA LA REPARACIÓN DE ÁREAS INDIVIDUALES MAYORES A 2,00m2 Y MENORES O IGUALES A 4,00m2, NO INCLUYE MACHONES, DINTELES Y BROCALES	m2	40	67.066,68	2.682.667,20	1.247,75

17	M.437.028.262	SUMINISTRO, TRANSPORTE Y COLOCACIÓN DE VENTANAS DE ROMANILLA DE PERFILES DE ALUMINIO Y VIDRIO. INCLUYENDO VIDRIO.	m2	60	402.812,13	24.168.727,80	11.241,27
18	M.419.511.016	CIELO RASO DE LAMINA DE POLIESTIRENO e=5/8", JUNTA VISIBLE, INCLUYE SUSPENSIÓN.	m2	1530	30.529,34	46.709.890,20	21.725,53
19	E.463.100.503	PINTURA DE CAUCHO INTERIOR EN PAREDES. INCLUYE FONDO ANTIALCALINO	m2	40	11.240,62	449.624,80	209,13
20	R.251.910.301	LIMPIEZA Y AJUSTE VENTILADORES (MANTENIMIENTO)	PZA	30	17.954,29	538.628,70	250,52
21	M.800.300.S/C	LIMPIEZA Y MANTENIMIENTO DE SUMIDEROS DE REJILLA (ANCHO MAX. 0.80 m LONG.MAX. 10 m)	Unid.	5	1.470.325,37	7.351.626,85	3.419,36
22	R.273.901.000	REMOCIÓN DE REJILLAS DE AIRE ACONDICIONADO HASTA ÁREA=0.5m2. INCLUYE MOVILIZACIÓN DENTRO DEL ÁREA DE TRABAJO	PZA	7	2.758,97	19.312,79	8,98
23	R.274.900.900	REMOCIÓN SIN RECUPERACIÓN DE MATERIAL AISLANTE TÉRMICO DE FIBRA DE VIDRIO EN DUCTERIA DE AIRE ACONDICIONADO	m2	24	3.633,42	87.202,08	40,56
24	R.274.900.800	REMOCIÓN SIN RECUPERACIÓN DE DUCTERIA GALVANIZADA CALIBRE DESDE 24 A 20 INCLUYE MOVILIZACIÓN DENTRO DEL ÁREA DE TRABAJO.	kg	35	1.052,82	36.848,70	17,14
25	E.141.213.019	REMOCIÓN SIN RECUPERACIÓN DE TUBERÍAS ENTERRADAS DE PVC DE DIÁMETRO 8"	m	315	8.748,19	2.755.679,85	1.281,71
					Sub-Total	137.075.745,79	63.756,16
					I.V.A (11,00 %)	15.078.332,04	7.013,18
		* Tipo de cambio vigente 2.150,00 Bs/¢			Total	Bs.152.154.077,83	\$70.769,34
							142.211,45
		COSTO INICIAL			Sub-Total	126.144.235,37	58.671,74
					I.V.A (11,00 %)	13.875.865,89	6.453,89
					Total	Bs.140.020.101,26	\$65.125,63
		COSTO MANTENIMIENTO			Sub-Total	7.890.255,55	3.669,89
					I.V.A (11,00 %)	867.928,11	403,69
					Total	Bs.8.758.183,66	\$4.073,57
		COSTO DISPOSICIÓN FINAL			Sub-Total	3.041.254,87	1.414,54
					I.V.A (11,00 %)	334.538,04	155,60
					Total	Bs.3.375.792,91	\$1.570,14
		TOTAL				Bs.152.154.077,83	\$70.769,34

Alternativa N° 3

Estructura de Costos CV- Alternativa N° 3							
N°	COVENIN	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT.	P. UNITARIO	TOTAL (Bs)	TOTAL USD (\$)*
1	E.711.113.015	SISTEMA COMPACTO EXPANSIÓN DIRECTA DE AIRE ACONDICIONADO TIPO HORIZONTAL, CAPACIDAD 7 T.R. 90000 BTU. INCLUYE EL TRANSPORTE E INSTALACIÓN. NO INCLUYE BASE DE CONCRETO, NI DUCTO DE SUMINISTRO Y RETORNO	PZA	3	15.270.364,60	45.811.093,80	21.307,49
2	M.719.110.180	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE DUCTOS DE AIRE ACONDICIONADO Y VENTILACIÓN FORZADA, ELABORADOS EN LAMINAS DE ACERO GALVANIZADO, CALIBRE 22 A 26 INCLUYE EL TRANSPORTE.	kg	96	19.484,20	1.870.483,20	869,99
3	M.719.210.020	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE AISLAMIENTO PARA DUCTOS DE AIRE ACONDICIONADO DE SUMINISTRO Y RETORNO. ESPESOR 1"	m2	66	26.324,62	1.737.424,92	808,10
4	E.712.161.410	SUMINISTRO, TRANSPORTE E INSTALACIÓN DE DIFUSOR DE AIRE RECTANGULAR CON ALETAS RECTAS DE 14"x10", 2 VÍAS EN ALUMINIO ANODIZADO, SIN CONTROL DE VOLUMEN.	PZA	9	85.580,45	770.224,05	358,24
5	E.713.511.412	SUMINISTRO, TRANSPORTE E INSTALACIÓN DE REJILLA DE RETORNO O EXTRACCIÓN DE 14"x12", EN ALUMINIO ANODIZADO, SIN CONTROL DE VOLUMEN	PZA	3	72.205,17	216.615,51	100,75
6	R.273.401.800	REMOCIÓN CON RECUPERACIÓN DE CUBIERTA DE TECHO DE LAMINAS LIVIANAS CLIMATIZADAS NO INCLUYE REMOCIÓN DE ESTRUCTURA DE SOPORTE. INCLUYE MOVILIZACIÓN DENTRO DEL ÁREA DE TRABAJO	m2	1000	6.489,50	6.489.500,00	3.018,37
7	E.361.114.100	SUMINISTRO DE PERFILES DE ACERO TUBULARES NACIONALES PARA LA FABRICACIÓN DE ESTRUCTURAS DE ACERO. NO INCLUYE EL TRANSPORTE.	kg	1350	3.693,56	4.986.306,00	2.319,21
8	E.361.621.100	SUMINISTRO, FABRICACIÓN, LIMPIEZA Y SISTEMA DE PROTECCIÓN DE SISTEMA DE PISO SOFITO METÁLICO (ENCOFRADO COLABORANTE) SEGÚN ESPECIFICACIONES	kg	100	6.052,40	605.240,00	281,51
9	Z.990.000.102	ENCOFRADO DE MADERA, TIPO RECTO, ACABADO CORRIENTE, EN ALCANTARILLA DE CAJÓN, CABEZALES DE ALCANTARILLAS, TANQUILLA, B.de.V	m2	36	79.599,00	2.865.564,00	1.332,82
10	C.208.721.001	SUMINISTRO, TRANSPORTE, PREPARACIÓN Y COLOCACIÓN DE ACERO DE REFUERZO DE RAT-2100 kg/cm ² UTILIZANDO CABILLAS DE DIÁMETRO IGUAL O INFERIOR A 1/2", PARA LA CONSTRUCCIÓN DE BROCALES, CUNETAS, ACERAS Y BASES	kg	958	4.304,13	4.123.356,54	1.917,84
11	E.611.091.025	TUBERÍA DE AGUAS CLARAS, DE PVC ASTM SOLDADA PARA AGUA FRÍA, DIÁMETRO 1" (25mm), ASTM, EMBUTIDA O ENTERRADA. INCLUYE CONEXIONES.	m	60	22.935,80	1.376.148,00	640,07
12	M.612.081.102	TUBERÍA DE AGUAS RESIDUALES, PVC, DIÁMETRO 4" (102mm), e=3.2mm EMBUTIDA O ENTERRADA. INCLUYE CONEXIONES.	m	30	33.196,80	995.904,00	463,21
13	E.328.000115P	CONCRETO PREMEZCLADO DE f'c=150 Kg/cm ² A LOS 28 DÍAS, ACABADO CORRIENTE, PARA LA CONSTRUCCIÓN DE BASE DE PAVIMENTO.	m3	42	597.889,90	25.111.375,80	11.679,71
14	R.416.112.133	CONSTRUCCIÓN DE PAREDES DE BLOQUES DE CONCRETO, ACABADO CORRIENTE, e=10cm PARA LA REPARACIÓN DE ÁREAS INDIVIDUALES MAYORES A 2,00m ² Y MENORES O IGUALES A 4,00m ² , NO INCLUYE MACHONES, DINTELES Y BROCALES	m2	100	67.066,68	6.706.668,00	3.119,38
15	M.420.S/C.003	IMPERMEABILIZACIÓN DE LOSA FONDO ESTANQUE A BASE DE MORTERO DE ARENA-CEMENTO Y ADITIVO IMPERMEABILIZANTE	m2	1000	69.806,85	69.806.850,00	32.468,30

16	E-S/C-	SUMINISTRO, TRANSPORTE E INSTALACIÓN DE TECHO PLEGABLE TIPO A CORDEÓN COMPUESTO POR PANELES ISOTEX O SIMILAR. SEGÚN ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO. INCLUYE SISTEMA MECÁNICO.	m2	950	114.595,33	108.865.563,50	50.635,15
17	E.704.221.134	SUMINISTRO, TRANSPORTE E INSTALACIÓN DE BOMBA CENTRIFUGA PARA AGUA 1 HP 1 FASE.	EQP	2	1.540.921,59	3.081.843,18	1.433,42
18	R.910.132.150	A CARREO DE ESCOMBROS CON USO DE CARRETILLAS, DESDE EL PIE DE OBRA HASTA SITIO DEFINITIVO DE CARGA A DISTANCIAS ENTRE 10 Y 50m CON PENDIENTES DE 0-15% INCLUSIV E INCLUYE CARGA Y DESCARGA	m3*m	5	1.554,93	7.774,65	3,62
19	E.136.020.000	CARGA CON EQUIPO LIVIANO DE MATERIAL PROVENIENTE DE LAS DEMOLICIONES O PREPARACIÓN DEL SITIO	m3	10	6.418,69	64.186,90	29,85
20	C.038.202.111	TRANSPORTE MONTAÑOSO EN CAMIONES DE CUALQUIER TIPO DE MATERIAL PROVENIENTE DE LA PREPARACIÓN DEL SITIO (DEMOLICIONES), MEDIDO EN ESTADO SUELTO, A DISTANCIAS MAYORES A 20km	m3*km	100	1.101,18	110.118,00	51,22
21	R.251.910.301	LIMPIEZA Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA	PZA	1620	11.214,37	18.167.279,40	8.449,90
22	M.800.300.S/C	LIMPIEZA Y AJUSTE BOMBAS (MANTENIMIENTO)	PZA	10	17.954,29	179.542,90	83,51
23	R.273.901.000	REMOCIÓN DE REJILLAS DE AIRE ACONDICIONADO HASTA ÁREA=0.5m2. INCLUYE MOVILIZACIÓN DENTRO DEL ÁREA DE TRABAJO	PZA	12	2.758,97	33.107,64	15,40
24	R.274.900.900	REMOCIÓN SIN RECUPERACIÓN DE MATERIAL AISLANTE TÉRMICO DE FIBRA DE VIDRIO EN DUCTERIA DE AIRE ACONDICIONADO	m2	66	3.633,42	239.805,72	111,54
25	R.274.900.800	REMOCIÓN SIN RECUPERACIÓN DE DUCTERIA GALVANIZADA CALIBRE DESDE 24 A 20 INCLUYE MOVILIZACIÓN DENTRO DEL ÁREA DE TRABAJO.	kg	96	1.052,82	101.070,72	47,01
26	R.273.401.800	REMOCIÓN CON RECUPERACIÓN DE CUBIERTA DE TECHO PLEGABLE INCLUYE MOVILIZACIÓN DENTRO DEL ÁREA DE TRABAJO	m2	950	7.263,27	6.900.106,50	3.209,35
					Sub-Total	311.223.152,93	144.754,95
					I.V.A (11,00 %)	34.234.546,82	15.923,05
					Total	Bs.345.457.699,75	\$160.678,00
							91.039,78
					Sub-Total	285.511.200,28	132.795,91
					I.V.A (11,00 %)	31.406.232,03	14.607,55
					Total	Bs.316.917.432,31	\$147.403,46
					Sub-Total	18.346.822,30	8.533,41
					I.V.A (11,00 %)	2.018.150,45	938,67
					Total	Bs.20.364.972,75	\$9.472,08
					Sub-Total	7.365.130,36	3.425,64
					I.V.A (11,00 %)	810.164,34	376,82
					Total	Bs.8.175.294,69	\$3.802,46
					TOTAL	Bs.345.457.699,75	\$160.678,00

* Tipo de cambio vigente 2.150,00 Bs/\$

ANEXO N° 7 – MATRICES DE DOMINACIÓN POR PILARES E INDICADORES

	Pilar Ambiental				
	A1	A2	A3	D	I
A1	0	0,077	0,115	0,192	2,532
A2	0,055	0	0,084	0,139	1,573
A3	0,020	0,012	0	0,032	0,162
d	0,076	0,089	0,199		

	Pilar Social				
	A1	A2	A3	D	I
A1	0	0,008	0,026	0,035	0,221
A2	0,100	0	0,075	0,175	8,467
A3	0,056	0,012	0	0,068	0,675
d	0,156	0,021	0,101		

	Pilar Económico				
	A1	A2	A3	D	I
A1	0	0,046	0,040	0,086	1,055
A2	0,069	0	0,079	0,148	1,966
A3	0,012	0,029	0	0,041	0,348
d	0,082	0,075	0,118		

ANEXO N° 8 – DETALLES CONSTRUCTIVOS

12

Detalle A
Estructura del vaso pared longitudinal
Escala 1/10

Detalle B
Estructura del vaso pared longitudinal
Escala 1/10

Detalle C
Estructura del vaso pared longitudinal
Escala 1/10

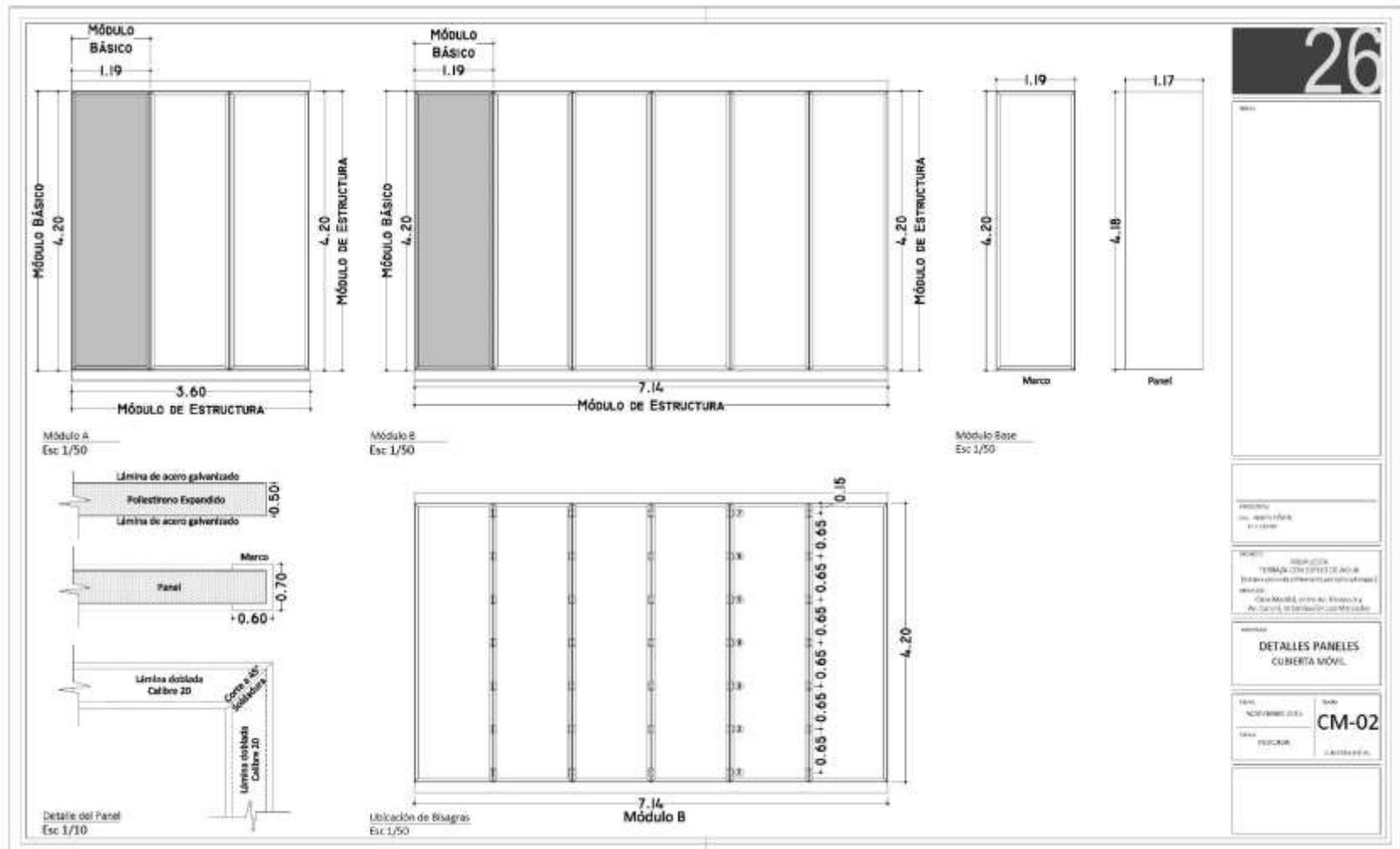
Detalle D
Estructura del vaso pared Transversal
Escala 1/10

Armadura metálica
Estructura del vaso pared
Escala 1/10

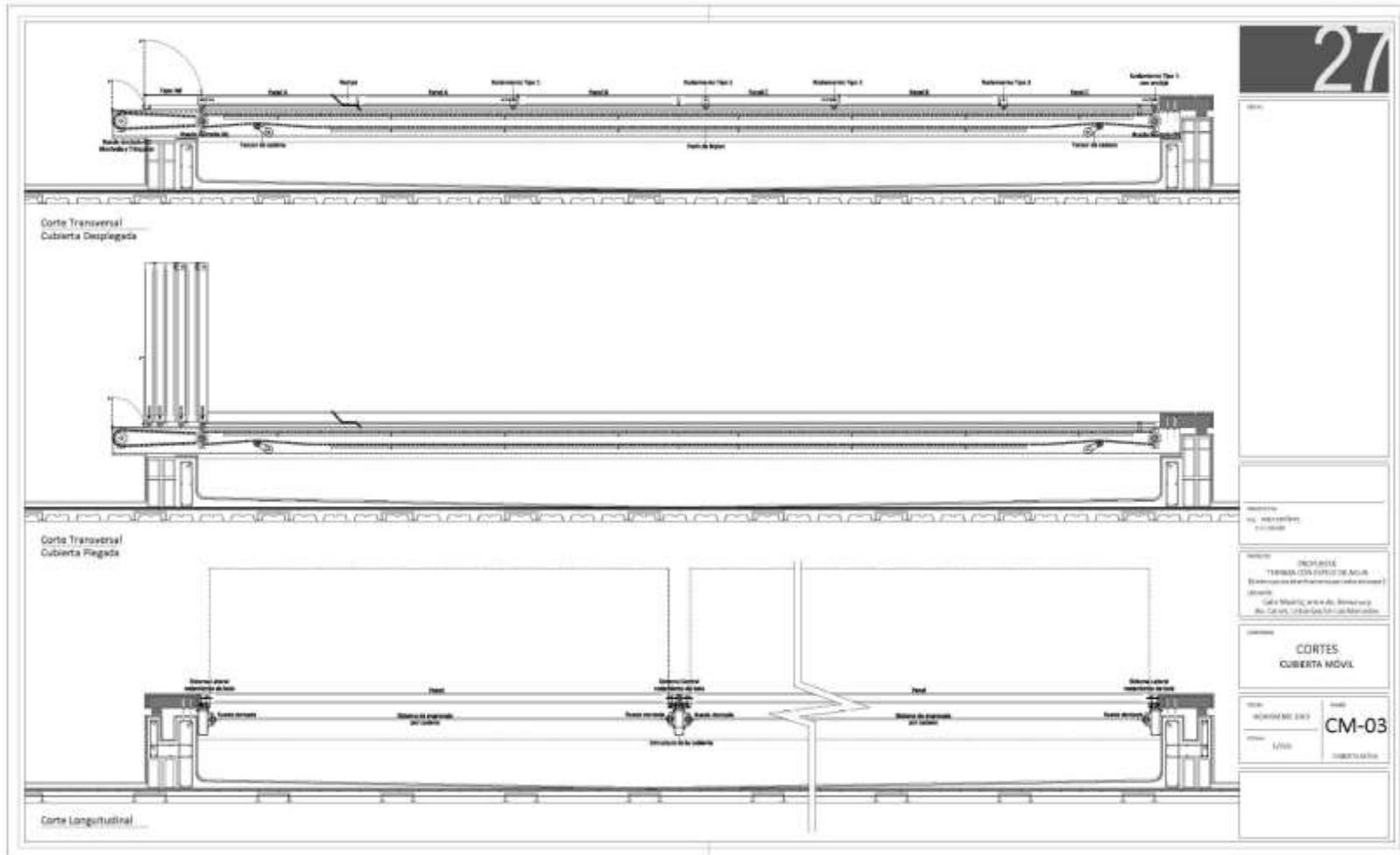
Detalle de anclaje
Placa metálica
Escala 1/5

PROYECTO: ANEXO N° 8 12	
PROYECTISTA: ANDYS PIÑATE	PROYECTISTA: ANDYS PIÑATE
CLIENTE: INSTITUCIÓN EDUCATIVA "LA ESCUELA"	
DIRECCIÓN: CALLE MARIANO ANTONIO VILLALBA, N° 1000, LIMA	
DETALLES DE ESTRUCTURA	
FECHA: MARZO 2013	HOJA: A-06
ESCALA: VARIAS	AUTORIA: ANDYS PIÑATE

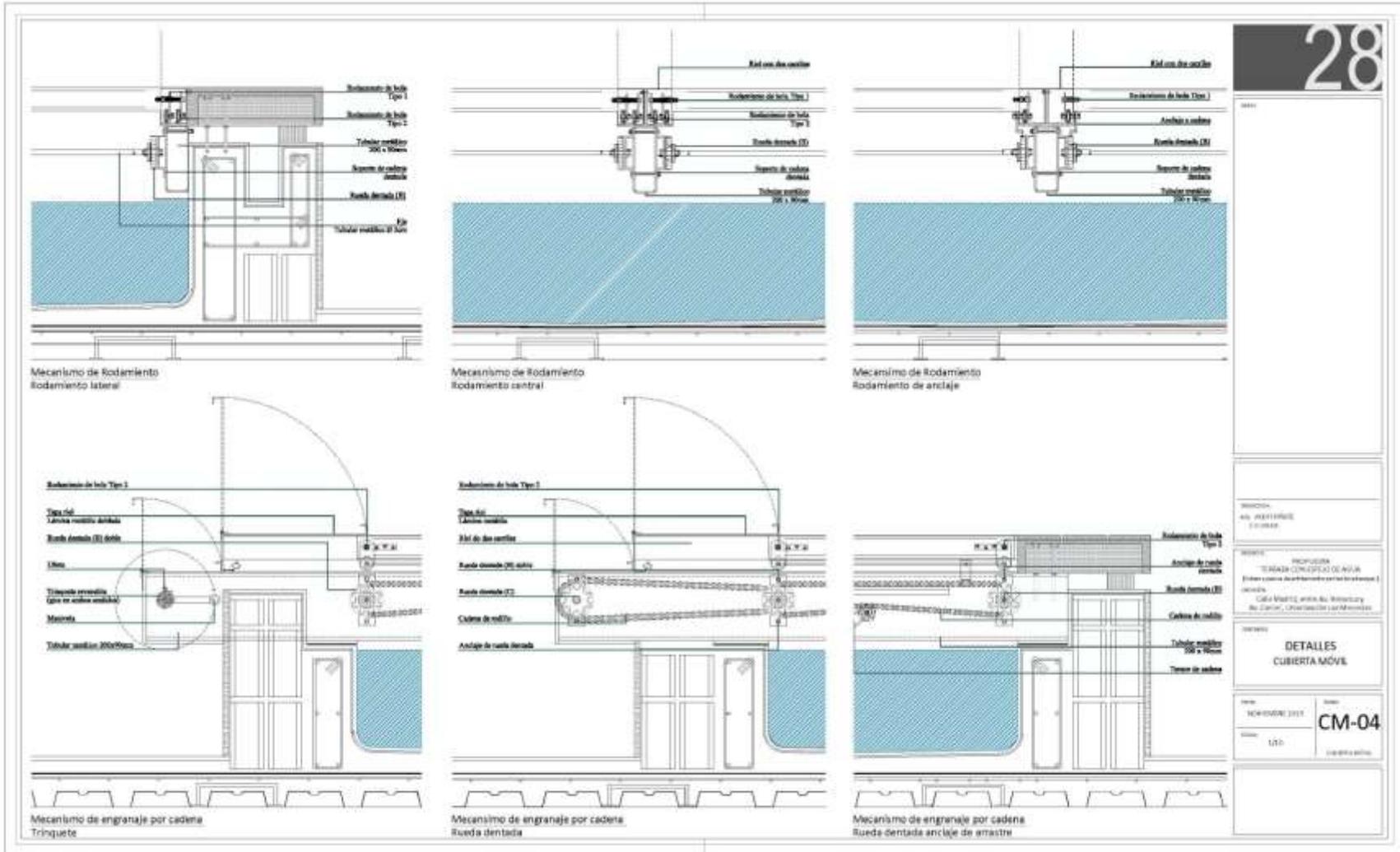
Fuente: Arq. Andys Piñate



Fuente: Arq. Andys Piñate



Fuente: Arq. Andys Piñate



PROYECTO	
AL. REFINADO	
E. 0.0000	
PROYECTA	PROYECTA
TERAZA CONCEPTO DE AGUA	
Estructura y cubeta de preinstalación por hot-bonding	
MONTA	
CASA MONTI, avda. del Interoceánico	
del Centro, Chamartín de la Reina	
MONTA	
DETALLES	
CUBIERTA MÓVIL	
FECHA	DESCRIPCIÓN
NOVIEMBRE 2017	CM-04
ESCALA	1:20
CUBIERTA MÓVIL	

Fuente: Arq. Andys Piñate