

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE ARQUITECTURA Y DISEÑO
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES SOCIALES

MAESTRÍA Y DOCTORADO EN PLANEACIÓN Y DESARROLLO SUSTENTABLE



***Análisis comparativo del impacto al ambiente
generado por dos viviendas de interés social
(testigo y eficiente), con respecto al consumo
de energía y agua, desde un enfoque de ciclo
de vida, en Mexicali, B.C.***

T E S I S

Que para obtener el grado de:

MAESTRA EN PLANEACIÓN Y DESARROLLO SUSTENTABLE

Presenta

ANGÉLICA BELÉN ESTUDILLO VELASCO

Director de tesis:
DR. HERMAN BARRERA MEJÍA

MEXICALI, BAJA CALIFORNIA, DICIEMBRE 2017

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

Declaro que la tesis que se presenta contiene material original que no ha sido presentado para la obtención de un grado académico o diploma en esta u otra institución de educación superior. Asimismo declaro que hasta donde yo sé no contiene material previamente publicado o escrito por otra persona excepto donde se reconoce como tal a través de las citas.

Mexicali, Baja California a ____ de _____ de 20__

Angélica Belén Estudillo Velasco

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología:

Por brindarme la oportunidad de continuar con mi desarrollo académico y profesional.

A la Facultad de Arquitectura y Diseño de la Universidad Autónoma de Baja California:

Por ser mi casa de estudios, y el apoyo otorgado a lo largo de mi formación académica y profesional.

A mi director de tesis, Dr. Herman Barrera Mejía:

Por la oportuna integración al equipo de trabajo, y por su interés y apoyo en la conclusión de esta etapa.

A mi cotutor, Dr. Osvaldo Leyva Camacho:

Por su apoyo y acertadas observaciones a lo largo del programa de maestría.

A mi cotutor, Dr. Augusto Arredondo Vega:

Porque a pesar de sus múltiples actividades como profesor, investigador y coordinador del programa, siempre buscó tiempo para resolver mis dudas y apoyarme a lo largo del programa de maestría.

A la Dra. Rosa Imelda Rojas Caldelas:

Por su entrega y dedicación para dirigirme desde el inicio del programa hasta su finalización.

A la Dra. Elva Alicia Corona Zambrano:

Por su constante motivación, apoyo y dedicación a lo largo del programa de maestría.

Al Dr. Roberto Calderón e ILUARCO:

Por su apoyo y el de sus colaboradores para brindarme las herramientas necesarias para el desarrollo de la presente investigación.

Por último, quiero agradecer de manera especial a mi familia y amigos por siempre estar al pendiente de mí sin importar las distancias:

A mis padres, Marco Antonio Estudillo Mendoza y Estrella Velasco López:

Por todo su amor, por siempre creer en mí, darme ánimos y toda la fuerza para avanzar satisfactoriamente en todo lo que me propongo, sin importar los altibajos de la vida, porque sin ellos no estaría aquí... son las estrellas que iluminan mi camino

A mi hermana Mahetabel Estrella Estudillo Velasco y sus *Luis*es

Por su apoyo incondicional, y cómplices de mis aventuras

A Jesús Antonio Meléndrez Cárdenas:

Por todo su cariño, por creer en mí, darme ánimos para continuar; porque no pudimos habernos conocido en un mejor momento.

A Ana Teresa Gutiérrez García:

Por ser mi amiga incondicional, estar en las buenas, en las malas y en las peores

A mis compañeras y hermanas de maestría:

Particularmente a Li y Ana porque le dieron el toque de diversión al programa

RESUMEN

La vivienda es un sector de la construcción que siempre estará demandando un incremento en su producción, por lo tanto, es un producto de vigencia permanente. La problemática radica en ese aumento de la demanda habitacional y la necesidad de cumplir con el manejo eficiente de los productos, así como en el impacto que genera al ambiente el sector de la construcción, que a través de diversos procesos sistematizados demandan insumos y producen desechos en las fases de construcción y operación. Para ello se han desarrollado propuestas de evaluación orientadas a reducir el impacto ambiental a través de diversas certificaciones implementadas para el manejo eficiente de edificaciones. La presente investigación es de corte cuantitativo; el objetivo es analizar dos viviendas de interés social en Mexicali, respecto al consumo de energía y agua a través de la comparación de una vivienda testigo contra una eficiente para determinar las emisiones de CO₂ y el impacto al ambiente que generan desde un enfoque de análisis de ciclo de vida. El procesamiento final de la información se hizo a través del *software Design Builder*. Los resultados muestran diferencias significativas en la producción de emisiones de CO₂ según las características de las viviendas seleccionadas.

Palabras clave: Vivienda de interés social, eficiencia energética, consumo de agua, ciclo de vida, emisiones de CO₂.

ABSTRACT

Housing is a building sector that will always be demanding an increase in its production; therefore, it becomes a product of permanent validity. The problem lies in this increase of housing demand and the necessity to comply with the efficient management of products, as well as the environmental impact generated by the construction sector, which throughout several systematized processes requires supplies and produces waste in both construction phase and operation phase. To this end, evaluation proposals have been developed to reduce environmental impact through different certifications implemented for the efficient management of buildings. The present investigation has a quantitative approach; the objective is to analyze two houses of social interest in Mexicali, regarding the consumption of energy and water by comparing a witness house and an efficient house to determine the CO₂ emissions and environmental impact they produce from a life cycle assessment approach. Final processing was elaborated with Design Builder software. The results showed significant differences in CO₂ production according to the characteristics of the selected dwellings.

Keywords: Social interest housing, efficiency in energy and water consumption, life cycle assessment, CO₂ emissions.

ABREVIATURAS Y SIGLAS

ACV: Análisis de Ciclo de Vida

ANES: Asociación Nacional de Energía Solar

CFE: Comisión Federal de Electricidad

CO2: Dióxido de carbono

CEV: Código de Edificación de Vivienda

CONAE: Comisión Nacional para el Ahorro de Energía

CONAGUA: Comisión Nacional del Agua

CONAVI: Comisión Nacional de Vivienda

CONUEE: Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía

DUIS: Desarrollos Urbanos Integrales Sustentables

EIA: Evaluación de Impacto Ambiental

FIDE: Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica

GEI: Gases de Efecto Invernadero

INFONAVIT: Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores

NAMA: Acciones Nacionales Apropriadas de Mitigación (Nationally Appropriate Mitigation Actions)

NMX: Normas Mexicanas

NOM: Norma Oficial Mexicana

SHF: Sociedad Hipotecaria Federal

VIS: Vivienda de Interés Social

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	II
RESUMEN.....	III
ABSTRACT.....	III
ABREVIATURAS Y SIGLAS.....	IV
INTRODUCCIÓN.....	6
I. ANTECEDENTES.....	7
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
III. ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO.....	21
CAPÍTULO 1: SUSTENTABILIDAD, IMPACTO AMBIENTAL Y CICLO DE VIDA EN LA VIVIENDA.....	22
1.1 CONCEPTUALIZACIÓN DE LA VIVIENDA: VIVIENDA TESTIGO Y VIVIENDA EFICIENTE	23
1.2 DIMENSIONES DEL ESTUDIO DE LA VIVIENDA	25
1.3 IMPACTO AL AMBIENTE.....	31
1.4 CICLO DE VIDA.....	36
CAPÍTULO 2: MARCO NORMATIVO PARA LA VIVIENDA Y LA SUSTENTABILIDAD	41
2.1 AGENDAS INTERNACIONALES.....	42
2.2 NORMATIVIDAD NACIONAL	46
2.3 NORMATIVA APLICADA PARA LA EFICIENCIA EN EL USO DE ENERGÍA Y AGUA EN LA VIVIENDA MEXICANA	48
CAPÍTULO 3: MARCO METODOLÓGICO.....	53
3.1 ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN.....	54
3.2 PROCEDIMIENTO Y MÉTODOS EMPLEADOS	55
3.3 DESCRIPCIÓN DE LAS UNIDADES DE ANÁLISIS SELECCIONADAS	64
CAPÍTULO 4: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS UNIDADES DE ESTUDIO –VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL TESTIGO Y EFICIENTE–	67
4.1 EVALUACIÓN DE LOS CASOS DE ESTUDIO EN MATERIA DE ENERGÍA	68
4.2 EVALUACIÓN DE LOS CASOS DE ESTUDIO EN MATERIA DE AGUA	74
4.3 ÍNDICE DE DESEMPEÑO GLOBAL (IDG).....	76
4.4 IMPACTO AMBIENTAL: CO ₂ INCORPORADO AL AMBIENTE.....	77
CAPÍTULO 5: SUSTENTABILIDAD EN LA VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL	79
COMENTARIOS FINALES Y CONCLUSIONES	86
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	90
ANEXOS.....	95

INTRODUCCIÓN

Las actividades del sector de la construcción suelen realizarse sin considerar el empobrecimiento de los recursos y la producción de residuos; cualquier alteración del suelo derivada del sector de la construcción, provoca además una alteración de forma continua al tejido urbano; el ciclo de vida aplicado al sector de la construcción debe concentrarse en la gestión, el mantenimiento y disposición final del producto, o bien, la edificación, al término de su ciclo incluyendo los materiales de construcción y los residuos que se generan a lo largo del proceso de construcción (Sabella, 2005). De acuerdo con Morillón (2012), el sector de edificación consume el 20% de la energía, dentro de ese sector, el 83% lo demanda la vivienda.

Dentro de la normatividad para la sustentabilidad en la edificación, se destacan las Normas Técnicas Bioclimáticas del (INFONAVIT); las Normas Oficiales Mexicanas para la Eficiencia Energética (NOM-007-ENER-2004, NOM-008-ENER-2001 y NOM-013-ENER-2004) de la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE); la Norma Oficial Mexicana para la eficiencia energética en edificaciones y envolvente de edificios residenciales (NOM-020-ENER-2011) de la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE); las Normas Mexicanas (NMX) de la Asociación Nacional de Energía Solar (ANES) orientadas a la eficiencia de calentadores solares de agua, instalaciones, terminología y sistemas; la Norma Ambiental (NOM Ambiental) orientada a los calentadores solares de agua por parte del Gobierno de la Ciudad de México (antes, Distrito Federal); y el Código de Edificación de Vivienda (CEV), en su capítulo de sustentabilidad de la Comisión Nacional de Vivienda (CONAVI) (Morillón, 2012: 23). Para fines de esta investigación, la NOM-020-ENER-2011, las NAMA y el CEV serán los principales ejes normativos por analizar.

Existen programas de financiamiento para vivienda sustentable, en los que se certifica a nivel nacional la sustentabilidad de las edificaciones entre los que se destaca la Hipoteca Verde de INFONAVIT; FIDE-CFE para la eficiencia energética y calentadores solares de agua; Criterios e Indicadores de los Desarrollos Habitacionales Sustentables de CONAVI; y Desarrollos Urbanos Integrales Sustentables de la Sociedad Hipotecaria Federal (SHF) (Morillón, 2012: 37).

I. Antecedentes

La vivienda es un elemento medular en la vida de las personas, se encuentra en constante demanda debido al incremento poblacional y continuará siéndolo mientras las tasas de crecimiento continúen al alza. Dada la magnitud de la temática de la vivienda, para su estudio, es posible incrustarla en diversas perspectivas teóricas.

Sin embargo, es importante señalar que el estudio de la vivienda atendiendo a la problemática mundial de calidad de vida, bienestar social, fenómenos de rezago habitacional, asentamientos irregulares, incremento poblacional, pobreza extrema, entre otros, se ha concentrado principalmente en los campos de investigación de la sociología y la economía debido a que son aspectos que se mantienen presentes en las agendas aunque poco a poco se han ido incorporando en temáticas relacionadas a los problemas ambientales que se derivan del sector de la producción de vivienda.

Existen investigaciones aplicadas al análisis de impacto ambiental de estructuras de concreto, pero solo para aquellos países que constan de una normatividad estricta (Restrepo, 2010; citado por Quintero y Tabares, 2015); en México, las investigaciones y sus aplicaciones se centran en el logro de construcciones que reflejan un ahorro económico y un mejoramiento en la calidad de las instalaciones (Quintero y Tabares, 2015).

Otras investigaciones se centran en el estudio de las estructuras que usualmente componen una edificación, como el acero o el concreto, en las que se destaca la investigación de Struble y Godfrey (2004) en donde analizan la sustentabilidad del concreto como material para la construcción de viviendas; Valdez (2011) se concentra en el análisis de ciclo de vida con relación al diseño estructural y los aspectos medioambientales.

En México las tendencias metodológicas predominantes se concentran en la eficiencia energética de los edificios, pero existen investigaciones que utilizan la metodología del análisis de ciclo de vida aplicada a los materiales de construcción. Existen diversos documentos que tratan el análisis del ciclo de vida, en ellos se aborda la potencialidad de los materiales, en el caso del sector de la construcción, para obtener un mejor aprovechamiento de los mismos en sus diferentes fases (Hinestrosa, Cubides, Corrales, Hernández; 2012).

Al tratar el tema específicamente en el sector vivienda, es una herramienta para diagnosticar el rendimiento ambiental, económico y social de la vivienda en el país a partir de los materiales empleados para su construcción; el centro Mario Molina desarrolló un índice sustentable para la vivienda y sus alrededores partiendo del análisis de 35 proyectos de viviendas para complejos de interés social (Centro Mario Molina, 2012).

Las investigaciones orientadas hacia este tipo de análisis se centran en el impacto ambiental de los materiales de construcción; en las características físicas de cada material; en las fases que componen la edificación, desde la elaboración del material hasta que este es utilizado y cumple con su función y vida útil pero también contempla la fase de uso de la edificación es decir, los recursos que consume en este periodo así como las emisiones que genera.

Arena (2005) menciona que es la fase de uso la que posee mayor relevancia dentro de las fases del ciclo de vida de un edificio debido a que los factores que afectan los consumos energéticos de un edificio durante ese periodo de uso son, en términos generales, los relacionados con su forma y orientación; la envolvente; eficiencia energética de equipos de climatización, iluminación y producción de agua caliente; el efecto de la forma y la orientación del edificio sobre las cargas de calefacción y de acondicionamiento; los usuarios y su estrategia de operación en el control climático del edificio. En este sentido y desde un enfoque sustentable, pretenden que mediante estos análisis se logren desarrollar políticas y estrategias que permitan el nuevo desarrollo de viviendas sustentables a través de la recuperación, reúso y reciclaje de los materiales empleados para la construcción.

En México lo que se pretende, de acuerdo con de Buen Rodríguez (2010) es desarrollar una metodología para esta clase de evaluaciones. Para lograrlo es necesario el apoyo en los sistemas internacionales para la certificación de la sustentabilidad ambiental de los edificios. Estos sistemas son voluntarios, es decir, que no están inscritos en ninguna política, reglamento o norma como un elemento obligatorio a cumplir para la aprobación, diseño o ejecución de alguna edificación; y, por el contrario, solo se limita a considerárseles como sugerencias.

A. Certificación de edificios sustentables

Dentro de los diversos sistemas internacionales para estas certificaciones destacan la BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology); Energy Star; LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) Green Building; GBC España – Verde; LBC (Living Building Challenge) que a continuación se describen:

- **Certificación BREEAM.** Es el sistema de certificación más antiguo y establece el estándar en cuanto a las mejores prácticas en el diseño sustentable en los edificios, desde sus fases de diseño y construcción hasta su operación. Las fases constan del registro del proyecto, evaluación de la fase de diseño, redacción de informe, verificación, redacción de informe, certificado provisional, evaluación de fase de construcción y certificación. Los métodos y técnicas utilizadas son: Criterios de evaluación, matrices, diagramas y tablas.
- **Certificación Energy Star.** La certificación Energy Star se crea como un programa de combate contra el cambio climático por parte de la Agencia de Protección al Ambiente (EPA – Environmental Protection Agency) permite la comparación de consumos de energía; requiere una descripción sencilla del edificio sin necesidad de contar con datos referentes a las condiciones de la localización de los edificios. La metodología parte de los datos representativos del proyecto, contar con un edificio de referencia, la comparación de desempeño, análisis de regresión estadística, evaluación y certificación. Los métodos técnicas que emplea son los criterios de evaluación, desempeño energético, algoritmo de evaluación, matrices, diagramas, tablas, software: portfolio manager (Buen Rodríguez, 2010).

- LBC (Living Building Challenge). Tiene el objetivo de establecer el mayor grado de sustentabilidad en el área de la construcción y es un conjunto de medidas que buscan el respeto al medioambiente a través de los recursos renovables y sistemas de agua. Sirve de complemento a la certificación LEED.
- Certificación LEED. La certificación LEED es operada por el U.S. GBC (Green Building Council) quienes proponen soluciones para lograr un equilibrio entre el medioambiente, la sociedad y la economía. Utiliza tecnología existente en el mercado; evalúa el desempeño ambiental desde la perspectiva de todo el edificio; se basa en la certificación EnergyStar, por lo que es necesario un edificio de referencia para la evaluación; permite la simulación de consumo para edificios en proceso de diseño y construcción. Es necesario registrar el proyecto, definir el tipo de certificación, realizar una pre-evaluación, emitir la solicitud, seleccionar los criterios y hacer una revisión de las fases de diseño y construcción.
- Los métodos y técnicas que emplea es la evaluación por puntaje de criterios, hojas de cálculo para la calificación correspondiente, algoritmo de evaluación, matrices, diagramas y tablas. Dentro de los criterios, esta certificación contempla los siguientes: sitios sustentables, uso eficiente de agua, energía y atmósfera, calidad del ambiente interior, innovación del diseño (De Buen Rodríguez, 2010).
- Certificación GBC –Verde. La certificación GBC –Verde permite reconocer de forma diferenciada los méritos medioambientales de los proyectos solicitantes de la certificación, con base en el impacto ambiental que logren evitar o reducir dichos proyectos. Los métodos y técnicas que emplea esta certificación parten del ciclo de vida en donde las consideraciones según la etapa del proyecto varían; la etapa del producto considera el transporte de materiales, la etapa de construcción considera el uso del edificio y la etapa de vida, considera la rehabilitación y demolición. Se apoya de un algoritmo de evaluación, matrices, diagramas y tablas.

1. Técnicas aplicadas en la evaluación de edificios

Las certificaciones previamente descritas se apoyan de diversas técnicas y su selección depende de los métodos seleccionados para evaluar un determinado proyecto así como de la fase en la que se encuentre la evaluación. Romero (2014: pp. 58-60; 76-81) y Gómez (2002: cap. IX -X) definen los siguientes métodos:

Superposición de mapas. Métodos utilizados para determinar la capacidad de acogida, es decir, la aptitud de un lugar a una actividad o proyecto. Pueden elaborarse de forma manual o automatizada.

Matrices de interacción causa-efecto. En este método, los inventarios, siendo listas unidimensionales de los impactos potenciales de una acción, se transforman en matrices bidimensionales, que permiten la comparación entre las diversas alternativas de un proyecto. La matriz de Leopold, que se usa para identificar y valorar efectos, fue el primer método de valoración de impactos.

Diagramas de redes y diagramas de flujo. Establecen relaciones de causalidad entre la acción propuesta y el medio ambiente afectado. Estas relaciones suelen ser lineales. Son empleados también para discutir impactos indirectos.

Listas de verificación (de control, de chequeo o inventarios). Su función principal es identificar y evaluar de manera preliminar; establecen los principales impactos de un proyecto. Establecen además los componentes y factores (indicadores) ambientales a considerar durante la evaluación.

Indicadores. Son elementos ambientales que transmiten información del estado del ecosistema, en su totalidad o de una porción o elemento del que forman parte. Pueden ser cuantitativos o cualitativos. Gómez Orea (2002: p.521) lo simplifica como “la expresión medible del impacto ambiental”.

Simulaciones. Estos métodos permiten hacer una simulación del comportamiento de un sistema ya sea simple o complejo y evaluarlo.

Métodos combinados. Surgen de la utilización de dos o más métodos.

B. Evaluación de vivienda sustentable en México

En México, la forma de evaluación de un proyecto piloto de vivienda sustentable se basa en las Medidas de Mitigación Nacionalmente Apropriadas (NAMA por sus siglas en inglés); los alcances y objetivos de un proyecto piloto NAMA Vivienda sustentable consisten en lo siguiente (CONAVI, 2014; ILUARCO, 2017):

- Probar y demostrar los alcances y la capacidad de la NAMA de Vivienda Nueva a través de la implementación de viviendas sustentables basado en el desarrollo y la construcción de 25 viviendas de interés social con un bajo consumo de energía.
 - Monitorear los resultados obtenidos para averiguar su ahorro de energía y respectiva mitigación de gases de efecto invernadero –GEI– con fines de réplicas futuras del modelo a nivel masivo.
 - Establecer parámetros para atraer y redireccionar financiamiento internacional y nacional para impulsar viviendas sustentables y combatir los efectos del cambio climático.
1. Actividades implementadas para la evaluación de vivienda sustentable en México (ILUARCO, 2017):

Diseño de medidas activas y pasivas de eficiencia energética.

Integración de las medidas en la planeación ejecutiva del prototipo de vivienda.

Simulación del consumo energético de los prototipos de vivienda con base en el “Desempeño global de la vivienda”.

Construcción de las viviendas y control de calidad de obra.

Monitoreo del consumo energético de las viviendas construidas con medidas adicionales y de viviendas de la misma tipología sin medidas para 2 años.

Registro en el RUV y Sistema de Evaluación de la Vivienda Verde (SISEVIVE).

Generación de datos de consumo para la base de datos de CONAVI.

Difusión, análisis y conclusiones en cuanto a las medidas a fomentar.

Esta forma de evaluación de vivienda sustentable aplicada en México, se basa en las certificaciones mencionadas en el punto A de esta sección, pero desarrolla una metodología para un contexto nacional con relación al cambio climático y la eficiencia energética de la vivienda, siendo esto el punto de partida para el desarrollo de la metodología en esta investigación.

II. Planteamiento del problema

Es importante enfatizar que el impacto al ambiente de una vivienda se asociada, en primera instancia, con la forma en que una ciudad es estructurada en términos de urbanización o bien, la organización poblacional con relación al territorio (Leyva, 2001; Pradilla, 2013). De esta manera, la problemática de la investigación tiene arraigo en el proceso de industrialización en México debido al papel fundamental que desempeñó en la reorganización de la población nacional; esto deriva un proceso de urbanización en el que se impulsa el desarrollo económico a través de ajustes en los marcos de la política y las actividades económicas en donde se promovió la industrialización y terciarización de las mismas (Bazant, 2001; Pradilla, 2013).

América Latina se caracteriza por tener la mayor transformación en la distribución territorial de población rural a urbana en el periodo de 1940 a 1980, actualmente ésta proporción ha disminuido sin que se detenga el proceso de migración de lo rural a lo urbano según Pradilla (2013). Para México, es en 1940 que el proceso de industrialización y modernización comienza a influir y se manifiesta en el crecimiento demográfico que se multiplica en las primeras décadas del siglo XX a causa de la reducción de tasas de mortalidad, la inserción de programas de salud y el incremento en tasa de fecundidad, no obstante en 1970 la población urbana incrementa alrededor de cuatro veces con respecto a las primeras décadas de siglo XX por lo que el país se percibe espacialmente urbano al concentrarse la población en las ciudades y no en las zonas rurales (Bazant, 2001).

Por lo anterior, durante el periodo de industrialización se perciben dos fenómenos: por un lado, el desarrollo urbano de centro a periferia urbana, y por el otro, la expansión urbana de periferia a centro. En el primer caso la dinámica en la etapa preindustrial para las ciudades se basa en las tasas demográficas naturales de crecimiento; se impulsa el desarrollo industrial primeramente a través de la Ciudad de México, Monterrey y Guadalajara, seguidas de otras ciudades medias del país (Bazant, 2001); en el segundo caso y de forma paralela, la población rural se desplaza hacia las ciudades centrales en donde el crecimiento industrial es más notorio y se pierde totalmente el orden y control del crecimiento urbano en los centros de las ciudades, expandiéndose hacia las periferias de las ciudades (Bazant, 2001, Pradilla, 2013).

La estructuración urbana en Baja California, de acuerdo con Ranfla (2012) parte de las dificultades que implican las condiciones naturales del medio y del acceso reducido de población en la península que en conjunto perfilan un estado predominantemente urbano a principios del siglo XX por lo que el autor identifica tres periodos clave en el proceso de urbanización de Baja California:

- 1920 a 1940. Crecimiento moderado; se asocia con la crisis de 1929.
- 1940-1970. Crecimiento acelerado-alto; se asocia con las secuelas de la Segunda Guerra Mundial y la expansión económica de la posguerra.
- 1980-2005. Crecimiento bajo-acelerado; se asocia con la reestructuración de la política económica.

De esta forma, Pradilla (2013) advierte que estos movimientos poblacionales tienen influencia en la estructuración urbana al necesitar de alojamiento y servicios en las periferias de las ciudades en donde se asientan al no encontrar espacios accesibles y céntricos a los espacios de trabajo, por lo que de manera general, para las ciudades latinoamericanas se abren dos mercados en términos de suelo urbano: el primero es el mercado formal que se rige por las regulaciones de propiedad y urbanismo establecidas por el gobierno en donde la vivienda de interés social se produce en las zonas periféricas de la ciudad con la intención de abaratar el costo del suelo, urbanizarlos y con ello elevar las rentas de los terrenos desocupados que quedan inmersos en los desarrollos inmobiliarios; y el segundo, es el mercado informal que cobra presencia en aquellas zonas que se urbanizan de manera ilegal o irregular y que se mantienen vigente por los precios de suelo inasequible para toda la población por parte del mercado formal. En ambos mercados de urbanización, Bazant (2001) expone los impactos que la expansión urbana ejerce en el medio ambiente:

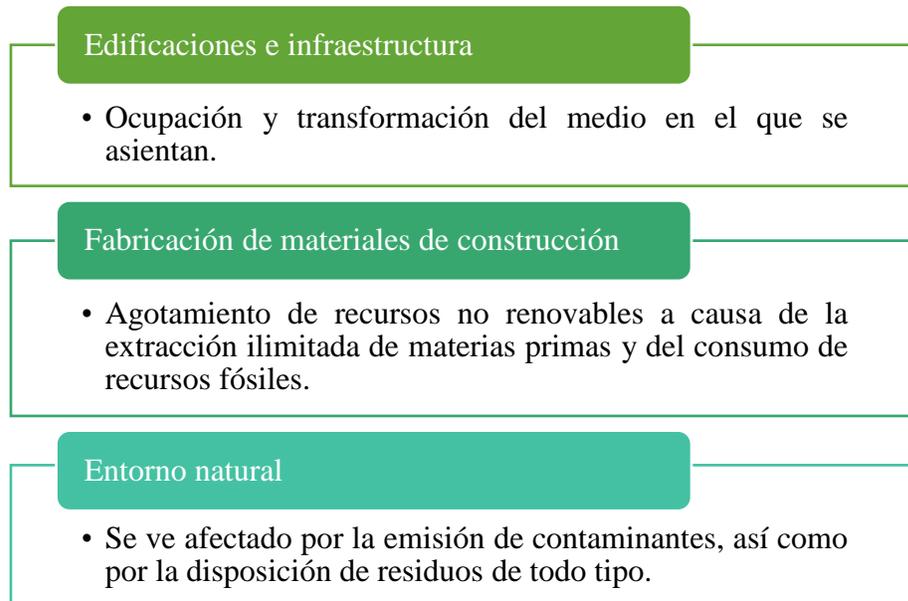
- Disminución de fronteras de cultivo: por una parte, los terrenos de cultivo se vuelven improductivos debido a la presión de urbanización, y por otra, resulta más factible económicamente vender los terrenos para que sean urbanizados que mantenerlos activos para la producción.
- Pérdida de áreas naturales: debido a la explotación de las reservas naturales y la erosión del suelo.

- Desequilibrio hidrológico: por el impacto que tiene satisfacer la demanda de abastecimiento de agua que está en constante crecimiento a través de las diferentes fuentes de agua como acuíferos y ríos y el riesgo de contaminación por las actividades urbanas que enfrentan así como la pérdida de áreas de recarga cuando se pierden los suelos agrícolas.
- Desalojo de aguas negras: por la magnitud de las obras hidráulicas que se tienen que implementar para atender a toda la mancha urbana en expansión y el impacto que le generan dichas obras al suelo.
- Contaminación atmosférica: principalmente por las emisiones de dióxido de carbono que liberan las actividades urbanas.
- Especulación con terrenos baldíos: La dinámica de dejar terrenos baldíos para uso futuro en actividades urbanas contribuye a que las zonas urbanas se sigan expandiendo hacia las periferias, lo que provoca un ciclo continuo expansión.

En este sentido, el sector de la construcción tiene una gran relación con los procesos anteriormente descritos; en México, para el año 2009, el sector de la construcción –que incluye toda clase de edificaciones, infraestructura y equipamiento que una ciudad requiere para su buen funcionamiento– registró como producto interno bruto (PIB) el 7.2% (INEGI, 2009). La cifra anterior no contempla el consumo de materiales de la construcción ni el valor de los terrenos en las que las obras se realizaron (INEGI, 2009); en el año 2015, este sector tuvo una expansión de 2.7% mientras que en 2016 fue del 1.8% (Jiménez, 2016; CMIC, 2016). En ese mismo año, el mercado hipotecario aumentó el 4.1% en el número de créditos otorgados, y 11.2% en el monto de créditos totales (Jiménez, 2016). Se calcula que cada año se requerirá incorporar alrededor de 28 mil hectáreas para soportar el crecimiento urbano del país. El 60% destinado al uso habitacional y el 40% al equipamiento y otros usos (SEDESOL, 2010).

De acuerdo con datos de la Unión Europea se necesitan más de dos toneladas de materias primas por cada metro cuadrado de vivienda que se construye; la energía requerida para la producción de sus materiales puede representar hasta un tercio del consumo energético de una familia en un lapso de cincuenta años; y la producción de residuos de este sector y su demolición puede representar hasta una tonelada anual por habitante, con la capacidad de seguir incrementándose (ITeC, 2006) lo que significa a grandes rasgos que las consecuencias medioambientales derivadas del sector de la construcción son muy altas. Estas consecuencias se traducen en impactos al ambiente que pueden agruparse en edificaciones e infraestructura; fabricación de materiales de construcción; y entorno natural (ver **figura 1**).

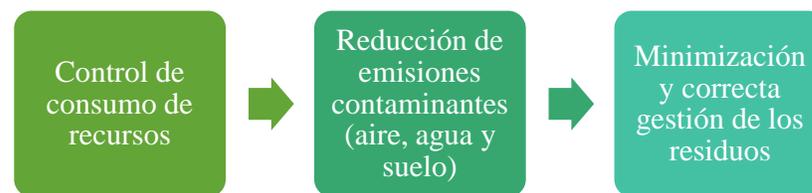
Figura 1. Agrupación de impactos ambientales en diferentes niveles del sector de la construcción.



Fuente: Elaboración propia, 2016; con base en los datos de ITeC, 2006.

Básicamente los recursos necesarios en una edificación son: Materia prima para la fabricación de materiales y productos necesarios para la etapa de construcción; agua para la fabricación, elaboración de los materiales durante la etapa de construcción y para el abastecimiento de la edificación en la fase de uso, energía para la extracción de materia prima, su manufacturación, distribución en la obra, la manipulación de maquinaria y equipo en la obra y el abastecimiento a la edificación en la etapa de uso (ITeC, 2006). Así, es posible concentrar este sector en tres aspectos para la reducción del impacto ambiental, como se muestra la **figura 2**.

Figura 2. Acciones básicas para la reducción de impactos al ambiente.



Fuente: Elaboración propia, 2016; con base en los datos de ITeC, 2006.

El control de consumo de recursos, implica la noción de que el equilibrio ecológico no debe verse afectado por el aprovechamiento, o bien, por el uso de los recursos naturales, sean renovables o no. Esto significa que los materiales de construcción son elementos que deben de aprovecharse al máximo sin ser desperdiciados debido a que pasaron por un proceso de producción en el que se invirtió materia prima, agua y energía para poder generarlos, y que para su instalación, mantenimiento y demolición, se volverá a invertir más de esos recursos (ITeC, 2006).

Las emisiones contaminantes se concentran en tres partes, el aire, el agua y el suelo. El equilibrio del aire puede ser afectado a través de la inestabilidad del entorno así como la salud física de los seres vivos debido a que se agregan gases como CO₂ a la atmósfera y el índice de partículas en suspensión se incrementa por lo que la calidad ambiental del territorio se deteriora; dichas emisiones, derivadas de la industria de la construcción y transporte de materiales no están del todo reguladas por lo que la contaminación en el aire se propaga ocasionando además estragos a la salud (SEMARNAT, 2012).

La principal fuente de producción de energía es a través de los procesos de combustión de recursos no renovables, es decir, el gas natural, petróleo y carbón. Solo en la Unión Europea, el sector de la construcción genera el 36% de sus emisiones de CO₂, de acuerdo con los datos de la Agencia Iberoamericana para la Difusión de la Ciencia y la Tecnología (ADiCYT, 2011). Para México, estas emisiones originadas de la industria manufacturera y de la construcción representan el 14.6%, refiriéndose esta cifra al porcentaje total de la quema de combustible en el periodo de 2011-2015 en donde la tendencia indica un continuo incremento (Banco Mundial, 2016).

Otro recurso afectado es el agua, por una parte, por las emisiones que se producen a través de las tareas de limpieza y, por otra parte, por las descargas de aguas residuales portadoras de residuos peligrosos. El agua residual termina vertiéndose al mar e incluso a las aguas destinadas al riego de cultivos, contaminando animales y cosechas que eventualmente el ser humano consumirá (ITEeC, 2006: 11). Por lo anterior es necesario que se gestionen adecuadamente los residuos manipulados para que el proceso de las plantas de tratamiento de agua no sea tan compleja y evitar riesgo de contaminación en cuerpos de agua, suelo y alimentos.

El suelo es un recurso del que los seres humanos disponen día con día para la edificación y que se expone a diferentes elementos contaminantes durante el ciclo de vida de una edificación a través de vertidos combustibles y productos peligrosos, etc. Es un recurso no renovable a corto y mediano plazo, muy vulnerable a los impactos ambientales que pueden provocar la desestabilización de su orden natural, esto significa que puede presentarse una disminución o aniquilación de la capacidad de regeneración vegetal (ITEeC, 2006).

En los últimos años se han incrementado las actividades extractivas como consecuencia de la demanda de la industria de la construcción, lo que provoca la explotación de esos materiales de manera ilícita cuando no cuentan con las autorizaciones correspondientes. La extracción de materiales para la construcción como grava, arena y piedra provoca destrucción de suelos y pérdida de la vegetación y fauna, tal como lo señala el Programa de Desarrollo Urbano y Centro de Población de Mexicali 2025 (XVIII Ayuntamiento de Mexicali, 2007).

Dentro de las acciones que permiten la reducción del impacto ambiental derivado del sector de la construcción destacan; por una parte, la necesidad de que todos los agentes que intervienen a lo largo del ciclo de vida de una obra de construcción colaboren de manera conjunta y responsable para aplicar las estrategias necesarias para la prevención y minimización de dichos impactos; y por otra parte, la imitación de los ciclos naturales a través de la concepción de los residuos como una materia prima más que puede aprovecharse a través del reciclaje o la reutilización, permitiendo su reincorporación en un nuevo proceso productivo (Shepelmann, 2006).

De lo anterior se desprende la importancia del análisis de ciclo de vida debido a que facilita advertir las consecuencias ambientales derivadas del sector de la construcción (ITeC, 2006) y particularmente en la vivienda debido a que es un producto que da soporte a la actividad humana y que por lo tanto se encuentra bajo constante demanda independientemente de las problemáticas relacionadas a ella.

Se han llevado a cabo investigaciones enfocadas a la evaluación de impacto ambiental que produce el sector de la construcción a nivel internacional (Tukker, 2000); en México se destacan investigaciones dentro de esa misma línea pero también evalúan el desempeño energético y niveles de sustentabilidad (De Buen Rodríguez); en investigaciones regionales, se encuentran análisis de ciclo de vida para edificación sustentable y para viviendas de interés social sustentable (Centro Mario Molina, 2012).

El análisis realizado en la presente investigación se diferencia de las investigaciones realizadas en el campo, porque compara una vivienda de interés social, que funge como testigo que reúne las características de las viviendas de interés social en el mercado nacional, con una vivienda de interés social incorporada a un programa federal de vivienda sustentable en la ciudad de Mexicali, para determinar el impacto al ambiente del ciclo de vida de ambas viviendas, enfocándose en las emisiones de CO₂ que producen; con base en lo anterior, se generaron los siguientes cuestionamientos:

Pregunta general

¿Qué impacto produce al ambiente la construcción de dos viviendas de interés social (testigo y eficiente) con respecto al consumo de energía y agua, para el caso de Mexicali, B.C.?

Preguntas específicas

- ¿Con qué materiales están construidas las viviendas de interés social seleccionadas?
- ¿Cuál es el consumo de energía y agua de las viviendas de interés social seleccionadas?
- ¿Qué impactos generan al ambiente las viviendas de interés social seleccionadas a partir de sus emisiones de CO₂ y del consumo de energía y agua?
- ¿Qué escenarios se pueden instrumentar para mejorar la eficiencia en el manejo de la energía y el agua en la vivienda de interés social en Mexicali?

Partiendo de las preguntas anteriores se desglosaron los siguientes objetivos para el desarrollo de la investigación y determinar por una parte, los consumos de energía y agua de cada vivienda, y por otra parte estimar los impactos al ambiente en términos de dióxido de carbono (CO₂) que producen las viviendas seleccionadas con base en los consumos determinados:

Objetivo general

Analizar comparativamente el impacto al ambiente que producen dos viviendas de interés social (testigo y eficiente) con respecto al consumo de energía y agua, para el caso de Mexicali, B.C.

Objetivos específicos:

- Caracterizar los materiales con los que están construidas las viviendas de interés social seleccionadas.
- Estimar los consumos de energía y agua derivados de las viviendas de interés social seleccionadas.
- Estimar los impactos al ambiente que generan las viviendas de interés social seleccionadas a partir de las emisiones de CO₂ que generan y el consumo de energía y agua que presentan.

- Inferir los escenarios que se pueden instrumentar para mejorar la eficiencia en el manejo de la energía y el agua en la vivienda de interés social en Mexicali, B.C.

Los alcances de esta investigación se centran en la comparación de dos viviendas de interés social. La primera, funciona como testigo, sin la integración de estrategias de eficiencia energética y en el uso del agua, mientras que la segunda, corresponde a una vivienda de tipo sustentable o certificada ante un programa de sustentabilidad para la vivienda en México, con la finalidad de tener resultados que cuantifiquen el impacto ambiental, enfocado particularmente a las emisiones de dióxido de carbono –CO₂– derivado del consumo de energía y agua y la ganancia de calor de la envolvente.

III. Organización del documento

Con base en lo anterior, el presente documento se conforma por cinco capítulos y un apartado de comentarios finales. En el capítulo 1 se hace una revisión de la conceptualización de la vivienda, las dimensiones en las que se estudian las problemáticas relacionadas a ella para posteriormente abordar el impacto al ambiente que se asocia con esta rama de la construcción y hacer una relación del análisis de ciclo de vida de la vivienda con dichos impactos. El capítulo 2 hace un abordaje de la vivienda y la sustentabilidad dentro de las discusiones de las agendas internacionales y el cambio climático así como del marco normativo nacional relacionado con la edificación y evaluación de la vivienda y que sirven de eje para el análisis de la investigación.

El capítulo 3 explica el enfoque de la investigación, la metodología y las herramientas aplicadas para llevar a cabo la presente investigación y hace una descripción de las viviendas de interés social seleccionadas; el capítulo 4 se centra en el análisis de los datos obtenidos en la comparación de la vivienda de interés social testigo y la vivienda de interés social eficiente con base en los consumos de energía y agua de cada vivienda y las emisiones de CO₂ que emiten según los consumos; en el capítulo 5 se hace una discusión de los resultados obtenidos. El documento concluye con los comentarios finales derivados de la discusión en donde se expone el estado de la vivienda de interés social en Mexicali, la situación con los análisis de ciclo de vida en el sector de la edificación, y los escenarios para nuevas líneas de investigación.

CAPÍTULO 1: SUSTENTABILIDAD, IMPACTO AMBIENTAL Y CICLO DE VIDA EN LA VIVIENDA

Como elemento fundamental de cualquier asentamiento, se encuentra la vivienda como una unidad de la que parte el arreglo de una ciudad o un sector de la misma. En este sentido, Leyva, Barrera y Arias-Vallejo (2017) mencionan que en la ciudad de Mexicali, la dinámica de expansión es influenciada, entre otras cosas, por los proyectos de vivienda urbanos que continúan en la línea insustentable. Así, el análisis del campo de la vivienda puede ser abordado desde diversas perspectivas sin ser excluyentes entre ellas; sin embargo, es a partir de la perspectiva sistémica y sustentable, en la que esta investigación se basa para obtener los elementos necesarios para determinar el impacto al ambiente que la vivienda genera con respecto al consumo de energía y agua utilizados a lo largo de su ciclo de vida.

Sin embargo, es importante mostrar el panorama en el que se desenvuelve la temática para entender el problema en el que se centra la presente investigación. En términos generales, Baja California comparte dinámicas estadounidenses por su situación fronteriza lo que lo empuja a la dependencia del automóvil, por lo que resulta importante la noción de que los proyectos urbanos periféricos promueven los procesos de dispersión de la ciudad, lo que acentúa el patrón insustentable de urbanización (Leyva, Barrera y Arias-Vallejo 2017).

Este apartado se divide en cuatro secciones en el que se expresan los conceptos que rigen la investigación con relación a la vivienda de interés social. En la primera parte se hace una breve revisión de los conceptos de vivienda y de vivienda de interés social, con lo que se denomina, dentro de la tipología de vivienda de interés social, la vivienda testigo y eficiente como los objetos de estudio del presente documento; el primer caso, se refiere a la versión convencional de la tipología; el segundo caso, se refiere a la versión modificada.

En la segunda parte se exponen diversas dimensiones en el estudio de la vivienda, haciendo particular énfasis en la dimensión sistémica y sustentable. En la tercera parte se discute sobre el impacto al ambiente y su relación con el sector de las formas de producción de vivienda. Finalmente, en la cuarta parte se habla del ciclo de vida, que es el concepto clave en el análisis del impacto ambiental de las viviendas de interés social seleccionadas.

1.1 Conceptualización de la vivienda: vivienda testigo y vivienda eficiente

De acuerdo con la ley federal de vivienda “para todos los efectos legales, se entiende por vivienda de interés social aquella cuyo valor, al término de su edificación, no exceda de la suma que resulte de multiplicar por diez el salario mínimo general elevado al año, vigente en la zona de que se trate” (DOF, 1984).

El Código de Edificación de Vivienda (CEV), segunda edición (CONAVI, 2010), dentro de su glosario se plantea que la vivienda se refiere al ámbito físico-espacial que presta el servicio para que las personas desarrollen sus funciones vitales básicas. Esto implica según el CEV al objeto terminado como el objeto parcial en proceso, es decir el producto en cualquiera de sus fases de acuerdo con las posibilidades materiales al que el usuario esté sujeto.

En este sentido, el CEV considera que si se observa a la vivienda como un proceso, se pueden establecer tres líneas de acción en su área, estas son la vivienda progresiva; el mejoramiento de vivienda; y la vivienda terminada (CONAVI, 2010: 51): La vivienda progresiva, de acuerdo con la definición del CEV, se refiere al incremento del inventario habitacional existente, esto a través de los diferentes programas que brindan la posibilidad del perfeccionamiento y fortalecimiento de la vivienda; el mejoramiento de vivienda es una línea de acción que se orienta por el contrario, a conservar, consolidar, rehabilitar y optimizar la utilización del inventario existente de vivienda como recurso incorporado a la política ambiental. La vivienda terminada por su parte se refiere a la línea convencional, o bien, la producción de vivienda a través de los financiamientos, que pueden ser gestionados de manera pública o privada.

En un contexto legal, en México se establece una definición emitida por el Programa de Vivienda (SEDATU, 2013), en donde se le define como aquel lugar que brinda protección a los factores externos, y en donde se puede descansar. Entre sus características se establece que debe ser un espacio limpio, sano, higiénico, con baño y servicios de agua potable y saneamiento.

Por su parte, SEDESOL (2010) continúa con la misma base en su definición, considerándola como la estructura material cuyo propósito es el de albergar a una familia o grupo social. La finalidad de esa dinámica es llevar a cabo la función del habitar, generador de la estructura urbana y satisfactor de las necesidades básicas del hombre, por lo tanto, se le considera un elemento más del espacio urbano.

De manera esencial, Del Pino (2003) menciona que se le puede definir como un lugar delimitado en el que sus habitantes hacen uso estable de él. De forma más específica, la vivienda de interés social es definida por Alva (2009) como aquella que es construida por los organismos sociales del sector público para sus trabajadores. Sin embargo, plantea que el término contiene contradicciones por el hecho de que no hay vivienda que no sea social debido a que se vive en una sociedad; y porque la vivienda social es exclusivamente para trabajadores y la vivienda denominada popular no lo es. Por lo anterior, Montoya (2010) la define como aquella que se produce de forma comercial, controlada y supervisada por los organismos nacionales de vivienda; su valor se restringe a ciertos salarios mínimos mensuales y está destinada a la población asalariada con ingresos de hasta 5 salarios mínimos.

En México la vivienda de interés social se diseña de manera homogénea para las diferentes regiones del país, sin embargo, cada región atiende a diferentes condiciones climáticas y culturales. Para fines de esta investigación, a este tipo de vivienda de interés social convencional, se le denominará *vivienda testigo* al ser la referencia en la comparativa del análisis. Mientras que a aquella vivienda de interés social que implementa medidas para mejorar las condiciones de confort y el impacto al ambiente, es decir, acciones, materiales o ecotecnologías que permitan adecuar la vivienda a las condiciones de la región, se le denominará *vivienda eficiente*.

1.2 Dimensiones del estudio de la vivienda

La vivienda es un objeto de estudio analizado desde diversas perspectivas o dimensiones con el fin de atender a las diversas problemáticas que se relacionan con ella, desde los aspectos socioeconómicos hasta aquellos relacionados a su mejoramiento en términos de confort y eficiencia. Rugiero (2000) plantea seis enfoques en el estudio de la vivienda: la vivienda como valor social, objeto, satisfactor de necesidades, género de vida –enfoque social y económico-, como proceso y sistema; el objetivo de este apartado es hacer una revisión de dichos enfoques, pero además, incorporar el enfoque sustentable.

1.2.1 Dimensión social

Desde esta dimensión, la vivienda es analizada a partir de las condiciones de vida de la población, brinda la pauta cultural vigente dentro de una determinada sociedad y época además de estudiar las consecuencias sobre la vida social. Enfatiza en el derecho al acceso de la vivienda aceptable, adecuada y decente. Se relaciona con el género de vida al incluir los aspectos subjetivos del habitar más allá del objeto (Rugiero, 2000).

Del Pino (2003) menciona que, en términos de vivienda, la inserción del enfoque social se justifica a partir de un primer argumento. Este consiste en que la vivienda se encuentra ligada a la sociedad al ser producida por los individuos que conforman una sociedad y al mismo tiempo se produce para beneficiar a los individuos que conforman dicha sociedad; dentro de este planteamiento, la vivienda es capaz de reproducir estructuras sociales de manera interna a través de la continuidad de los hechos externos introducidos por la sociedad a la que pertenece (su contexto) reflejándose en el objeto terminado o bien, la vivienda en su forma técnica. Pero también argumenta que tiene la capacidad de producir las estructuras sociales a través de la continuidad social derivada de sus habitantes a partir de la socialización en sus diferentes escalas y adaptada a un espacio físico en específico.

Un segundo argumento que justifica el enfoque social, parte precisamente de la consideración de la vivienda como un espacio social, que se encuentra delimitado de manera permanente, al mismo tiempo que otorga el espacio para vivir como mínimo antropológico (Del Pino, 2003).

1.2.2 Dimensión económica

La vivienda como objeto dentro de esta dimensión económica satisface tanto necesidades biológicas como necesidades sociales del grupo familiar dentro de una estructura física, que ofrece protección del exterior (Rugiero, 2000).

Es además considerado como el soporte material de las actividades humanas, en donde las actividades en gran medida se refieren a las actividades económicas; a la vez que se convierte “en un bien transable y producido” (Strub, 1966 en Rugiero, 2000: p. 72). De acuerdo con Merton (1963 en Rugiero, 2000: p. 68), desde el enfoque del liberalismo estricto “la provisión de viviendas es una actividad económica privada más”.

Así, Pradilla (2015) argumenta que las expansiones derivadas de dicha actividad económica se dan en mayor proporción que el crecimiento de la población y afectan, en muchos casos, las áreas periféricas, agrícolas y de reserva natural, lo que ocasiona la destrucción, o alteración de las mismas y que además, pueden incorporarse en zonas de riesgo para los hogares y sus patrimonios, como aquellas en terrenos minados, inundables, sujetos a deslaves, etc.; dentro de esta misma perspectiva, el autor argumenta que es posible analizar los costos de la dispersión periférica, que comprende los parques habitacionales y en general la producción de vivienda por parte de los mismos usuarios.

Lo anterior representa un efecto negativo en el crecimiento urbano, dado que genera un patrón de crecimiento periférico, disperso y fragmentado, esto provoca que las rentas y los precios del suelo se eleven continuamente como resultado de dicha expansión; es decir que los procesos de urbanización y expansión antes mencionados, tienen la capacidad de generar o moldear un patrón determinado del tipo y condiciones de vivienda dentro del esquema urbano.

Es importante también, mencionar la relación entre el Estado mexicano y la construcción del mercado de vivienda; esta industria funcionó como impulso para el desarrollo de crecimiento económico durante el periodo denominado como “milagro mexicano” comprendido de 1940 a 1970. Durante este periodo el Estado mexicano empleó de manera masiva mano de obra para la construcción de la vivienda y la infraestructura, financiándolo totalmente (Valenzuela, 2015: 22).

1.2.3 Dimensión procedimental

El dominio de los procesos, si bien se rige bajo el conocimiento de la arquitectura, y predomina el individualismo a través de las ideas soberanas de quien sea el especialista – una sola persona: el arquitecto, ingeniero, urbanista, planeador, etc. (Arredondo, 2016); en este abordaje del enfoque, el interés radica en la concentración del análisis del caso de estudio, es decir la vivienda, como un objeto. En esta dimensión se analiza la forma de llegar a obtener un producto; cómo se diseña y cómo se construye y se derivan dos enfoques, el profesional y el institucional; el primero no solo se centra en el diseño y construcción, además considera el ámbito docente y gubernamental; el segundo enfoque, trata de la diferenciación; tipos y espacios de lo edificado, en la construcción y en las profesiones implicadas (Rugiero, 2000).

Dentro de esta línea de pensamiento se inserta el determinismo físico; en el que se ven reflejadas las ideologías y técnicas de mentes individuales, y que concluyen en que el mundo funciona racionalmente a partir de sus intenciones; las teorías en este enfoque apoyan a la resolución de la parte operativa de la planeación y se conforman por la teoría de los procedimientos, representacionales, comunidad ecológica y las neoclásicas modernas (Arredondo, 2016).

Dentro del determinismo físico, Le Corbusier (Hall, 1997) dentro de su idea de la ciudad contemporánea, veía la vivienda como un objeto que debía reproducirse sistemáticamente en masa, y la relacionaba con una máquina, pero con atributos prácticos y funcionales para cualquier grupo social. Por lo tanto, sus ideas se basaban en la estandarización, dada su practicidad al momento de diseñar, a pesar de que esto pudiera ocasionar la pérdida de identidad en cada elemento que compone a la vivienda; por otra parte, otro problema radica en que el diseño no siempre es aplicable y reproducible de manera universal, debido a que el contexto de cada lugar varía (Le Corbusier, 1993).

Por su parte, Lynch (1984) comienza a formar un cambio en la estructuración del determinismo físico, al considerar aspectos más sociales dentro del ordenamiento urbano, es decir que se cuestiona lo que sucede con aquellos grupos que poco son tomados en cuenta como aquellos en las zonas marginadas. Así Ford (1999) menciona cinco elementos que Lynch considera fundamentales para el paisaje urbano, pero entre ellos no plantea un ordenamiento; su aportación radica en la diferenciación entre lo rural y lo urbano.

En contraste a estos elementos, Shultz (Ford, 1999) se basa solo en tres elementos y entre estos no hace ninguna diferenciación entre lo rural y lo urbano pero su aportación radica en la inserción de la parte humana dentro de esta corriente del determinismo físico. Dentro de esta misma línea, Palacios (2011) se concentra en aspectos como la generación y regeneración, reconfiguración urbana y la preocupación de tipo social.

Si bien en este enfoque predominan las ideas individualistas de los expertos en el dominio del área de conocimiento, en este caso, la arquitectura, la ingeniería o el urbanismo; buscan una racionalidad en el funcionamiento de la ciudad, y se ha adaptado con base en los tiempos cambiantes, al momento en que se hace necesario contemplar además otros aspectos como lo social o la parte humana.

1.2.4 Dimensión sistémica

Dentro de esta dimensión se pueden distinguir dos enfoques; el científico y el filosófico; el primero es de trabajo interdisciplinario, manifiesta enlaces entre sistemas sociales (familia, vecindario, comunidad) y el lugar (conceptualización del espacio, dimensión de la realidad); el segundo, es aplicado a lo espacial relacionando el conjunto de elementos entre sí y conjugándolos armoniosamente; guarda una estrecha relación con la perspectiva de proceso y en términos generales este proceso se caracteriza por desenvolverse a partir de sistemas cerrados, aunque no todos los sistemas lo sean –en un contexto amplio del entorno– (Rugiero, 2000; Sánchez, 1995).

Una aproximación integral a este enfoque contempla la teoría de los sistemas propuesta por Luhmann. La comunicación es el elemento básico de la sociedad; pero al mismo tiempo reflexiona que este elemento es producido por la misma sociedad. Esto alude al concepto de autopoiesis debido a que este proceso implica que el sistema como tal es capaz de construir los elementos que lo componen o que lo definen como tal; organiza los límites del sistema, así como los de sus subsistemas; y es autorreferencial (Sánchez, 1995).

Con base en lo anterior, Del Pino (2003) y Rugiero (2000) expresan que la vivienda es un sistema capaz de crear y recrear estructuras, o bien, sistemas sociales ya sea haciendo referencia a los núcleos familiares, vecinales o de comunidad a partir de los diferentes niveles de comunicación generables en ese entorno específico –ligado a lo espacial– o a la vivienda como objeto que comparte características similares a las otras viviendas en las que se comparte un mismo entorno físico-espacial, respectivamente.

1.2.5 Dimensión Sustentable

En esta dimensión se pretende enfatizar el uso un eficiente de los recursos, el diseño para una larga vida útil y la flexibilidad de adaptación al estilo de vida. En la medida de lo posible, no debe generar impacto al ambiente; se apoya de sistemas de evaluación de impacto ambiental –debido a que, en conjunto, estas evaluaciones permiten determinar si una edificación es sustentable o no– y en el uso de tecnologías o sistemas pasivos además de considerar aspectos como la energía, agua, suelo, materiales, diseño bioclimático (Arredondo, 2014: p. 16).

Naik (2005) menciona particularmente que en la industria del cemento y del concreto, sus creadores deben eliminar el desperdicio y responsabilizarse del ciclo de vida de sus productos, sin embargo, esta idea debería aplicarse en todos los niveles de la construcción –productos y/o edificaciones derivados de ella–. De acuerdo con el LANL (2002), los beneficios de construir sustentablemente pueden reflejarse en los bajos costos de mantenimiento, reducción de energía en la operación del edificio, bajos niveles de contaminación en el aire, usuarios más saludables y productivos, mayor estabilidad en los suplementos energéticos nacionales, reducción en la cantidad de materiales utilizados, mayor ciclo de vida del edificio.

El diseño bioclimático, de acuerdo con Arredondo (2014) trata de contemplar las características del medio físico natural, y entender cuáles son las implicaciones que estas tienen en los resultados del diseño; considera las necesidades climáticas con base en esas características para poder regular los efectos del clima sobre los edificios. El sol y su radiación, debe influir en el diseño urbano, las proporciones de la edificación y las redes viales, así como de la orientación de ambas partes, en el condicionamiento de los usos dentro de la edificación y con relación a la distribución urbana (zonificación), selección y distribución de áreas verdes (Higueras, 2011).

Según McDonough (1992, citado por Naik, 2005) para edificar de manera sustentable, los involucrados en la industria de la construcción deben atender a acciones orientadas a lo siguiente: utilización de materiales locales; uso de tierra que promueva no solo su protección sino la creación de suelo rico o fértil; al involucramiento del contexto urbano para preservar los espacios abiertos; aprovechamiento del agua como recurso natural a través de la utilización del agua de lluvia, las aguas grises –provenientes de la regadera, fregadero, baño y lavadora–; disposición de desperdicios, a través del reciclaje; cuidar la calidad del aire; el uso de sistemas de energía alterna como la solar o la eólica; promover la responsabilidad con la naturaleza.

En términos de eficiencia energética, los edificios en general producen ya sea de manera directa o indirecta emisiones de dióxido de carbono, propiciado por algún tipo de acondicionamiento climático como la calefacción o la refrigeración; a través de los sistemas de iluminación; y los servicios de electricidad o gas tanto en el periodo de uso de la vivienda como en el proceso de construcción de la misma (Jourda, 2012). En cuanto al suelo se refiere, debe contemplar no alterar el hábitat local; de ser posible, utilizar un terreno ya modificado o bien, evitar los daños innecesarios al sitio de desplante durante el proceso de limpieza y construcción (Arredondo, 2014).

Para lograrlo, es necesario la protección de las áreas en las que no se desplantará la edificación, concentrar los materiales, desperdicios, estacionamiento, entre otros, en una misma área determinada en la configuración del terreno y de existir vegetación, lo ideal es que se conserve; rehabilitar zonas dañadas; e implementar vegetación nativa. Se debe tener en cuenta el control de la erosión y otros sedimentos (Jourda, 2012). También es indispensable considerar el potencial del reciclaje; en este sentido se analiza si un material, al terminar su vida útil o la del edificio en general, puede ser reutilizado, reciclado o utilizado para generar energía (Arredondo, 2014).

Higueras (2011) plantea que en la planeación existe una influencia en la aplicación interpolada de las variables del medio natural –sol, vegetación, viento, agua, geomorfología– y las variables del medio urbano –red viaria, espacios libres, condiciones de las manzanas, condiciones de los terrenos y condiciones de la edificación– de lo que obtiene una serie de criterios para la optimización del medio ambiente que contemplan lo siguiente:

- Tomar medidas específicas para cada sitio –no aplicar soluciones universales–;
- Potenciar los usos mixtos para la diversificación de actividades concentradas en puntos centrales urbanos;
- Diversidad de usos recreativos y red de espacios libres urbanos;
- Contemplar densidades moderadas o altas en la planeación; aprovechar los recursos naturales y controlar los residuos sólidos.

Por lo tanto, en esta forma de diseño se concentran los aspectos descritos anteriormente (energía, agua, suelo y materiales de construcción) pero aplicados en diversas estrategias para la orientación de los edificios; el control solar; la ventilación; la iluminación; aislamiento térmico y acústico; y la adecuada utilización de la vegetación y áreas verdes.

De acuerdo con las dimensiones revisadas, para fines de esta investigación, las que se apegan a los objetivos de investigación son dos, la sistémica y la sustentable. Por una parte, la dimensión sistémica permite estudiar la vivienda como un objeto que puede subdividirse en sistemas y omitir aquellos que se salgan de los objetivos de investigación; así la vivienda de interés social –aunque denota problemáticas sociales y económicas– se estudia a partir de las problemáticas relacionadas con el ambiente y el impacto que se le ejerce a través de las emisiones de CO₂ que produce en sus vertientes: testigo y eficiente. Por otra parte, la dimensión sustentable, considera el manejo eficiente de los recursos agua y energía dentro de su metabolismo, asociado al ciclo de vida de la vivienda.

1.3 Impacto al ambiente

Como se mencionó anteriormente, la investigación se orienta a las problemáticas de la vivienda de interés social que están directamente relacionadas con el ambiente por lo que en este apartado se exponen tres conceptos elementales para esta investigación: impacto ambiental, metabolismo y ciclo de vida. En el primer concepto se da una reseña de cómo se incorpora en México el concepto y de cuáles son sus componentes; posteriormente se introduce el concepto de metabolismo, como extensión de la dimensión sistémica para entender los procesos del flujo de energía y agua en una edificación y finalmente se expone el ciclo de vida en la edificación, en el que se incorporan los primeros dos conceptos.

Brañes (2000) expresa que la contaminación, como una condición que altera el ambiente, es un concepto que se emplea para referirse a la presencia de uno o más contaminantes en el ambiente y que lo pueden degradar total o parcialmente. Cantú (2004) habla de la gestión ambiental como un mecanismo cuyo objetivo es el ordenamiento del ambiente, a través de actos normativos y materiales; se compone de la política ambiental, el derecho ambiental y la administración ambiental. La política ambiental a nivel mundial cobra relevancia a partir del conjunto de tres sucesos: la crisis de la relación entre la economía y la naturaleza; la concientización de la crisis ambiental como problemática global; y una búsqueda por mitigar los efectos de la crisis ambiental (Micheli, 2002: 134).

Dentro de las políticas públicas estos hechos ayudaron a concretar un nuevo ámbito, el de la política ambiental cuya base era encontrar un equilibrio entre la crisis economía-naturaleza y la crisis ambiental. Por lo que en un contexto nacional, Micheli (2002) menciona que la política ambiental entra en vigor en el momento en que el Estado se percata de que la crisis ambiental es un acontecimiento de discusión a nivel mundial, pero además que la presencia de catástrofes tanto naturales como aquellas derivadas de la actividad humana, guardan una fuerte relación con el estado del ambiente.

Es así como se comienza un periodo de reajustes jurídicos en el que se integran los aspectos ecológicos o medioambientales con el fin de delimitar; por una parte, el uso de los recursos naturales para su conservación, y por la otra, la mitigación de la contaminación. Este movimiento finalmente se concreta en 1988 con la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) y es en su artículo 3ro donde se define el impacto ambiental como una alteración del ambiente y que es resultado de la intervención del hombre, aunque también considera la intervención de la naturaleza misma.

El impacto ambiental se refiere tanto a la identificación como a la valoración de los impactos potenciales generados por una determinada acción con relación a los componentes del entorno (Canter, 1998: 2-3; citado por Rojas C., Peña, Ranfla, Leyva, y Corona, 2015). Bajo este panorama resulta prudente hablar del derecho ambiental, como una rama del derecho y por lo tanto se inserta a su vez como una disciplina jurídica cuyo objeto es la legislación ambiental; de acuerdo con Brañes (2000: 29) es posible definir el derecho ambiental como:

“el conjunto de normas jurídicas que regulan las conductas humanas que pueden influir de una manera relevante en los procesos de interacción que tienen lugar entre los sistemas de los organismos vivos y sus sistemas de ambiente, mediante la generación de efectos de los que se espera una modificación significativa de las condiciones de existencia de dichos organismos.”

En el caso de la intervención del hombre, se puede contemplar el área de la construcción; cualquier edificación causa un impacto ambiental; determinar el grado de impacto es posible mediante una evaluación ambiental, por lo que Erías y Álvarez-Campana (2006) mencionan primeramente que este tipo de evaluación tiene por objetivos prever los resultados de alguna intervención prevista con la finalidad de una mejora en la toma de decisiones que conciernen a dicha intervención; y segundo, que la evaluación ambiental se configura por dos grupos de instrumentos; los primarios y los secundarios.

Los instrumentos primarios corresponden a la evaluación ambiental estratégica –EAE– y a la evaluación de impacto ambiental –EIA–. Los instrumentos secundarios corresponden a lo que se le puede denominar complementos de la EIA: evaluación de impacto social –EISo–; evaluación de impactos acumulativos –EIAc–; evaluación de impacto sobre la salud –EISa–; y evaluación de impacto integrada –EII– (Erías y Álvarez-Campana, 2006).

En el caso de la EAE, su objetivo es evaluar las consecuencias que propician, en el medio ambiente, la ejecución de políticas, planes y programas. En el segundo caso, la EIA se centra en evaluar el alcance de los proyectos de obras e instalaciones, así como actividades sobre el medio ambiente (Erías y Álvarez-Campana, 2006). Esta última es una herramienta de planeación técnica ligada a la toma de decisiones políticas dentro de un sistema de planeación (Canter, 1998: 2-3; citado por Rojas, 2015). De lo que una evaluación de impacto ambiental representa, Arboleda (2008: p.3) establece lo siguiente:

“[...] es un instrumento o herramienta de carácter preventivo, encaminado a identificar las consecuencias ambientales de la ejecución y funcionamiento de una actividad humana, con el fin de establecer las medidas preventivas y de control que hagan posible el desarrollo de la actividad sin perjudicar, o perjudicando lo menos posible, al medio ambiente.”

Tukker (2000) se refiere a la evaluación de impacto ambiental como un procedimiento que tiene que apoyar la elaboración y toma de decisiones referente a los aspectos de un rango de actividades mucho más extenso; y plantea el análisis de ciclo de vida (ACV) como una herramienta analítica diseñada para evaluar los impactos ambientales relacionados con una cadena de producción que complementa a la EIA. Ambas formas se rigen bajo el mismo principio, pudiéndolas dividir en tres fases. La primera es la definición de los criterios de evaluación; la segunda corresponde a la definición del sistema e inventario; y la tercera se refiere a la selección de una alternativa que en conjunto acúan como un sistema metabólico.

1.3.1 Metabolismo

De acuerdo con Newman (1999), el metabolismo es una manera en que el sistema, visto biológicamente, identifica los recursos entrantes y los desperdicios salientes de los asentamientos. La forma en que se desarrolla este proceso, inicia a partir de los recursos entrantes, como la tierra, el agua, el alimento, la energía, los materiales de construcción, entre otros. Estos se integran en las dinámicas de los asentamientos a través de lo que Newman (1999) denomina como prioridades y que pueden ser de transporte, económicas o culturales.

Una vez integradas a estas dinámicas, lo natural es que a partir de ellas se transforme en desecho aquellos elementos que no son útiles, a lo que se le denominan desperdicios salientes, como pueden ser: desperdicios sólidos, líquidos o de calor, tóxicos, contaminantes del aire, gases de efecto invernadero, e incluso ruido (Newman, 1999). Este objeto a su vez es un sistema, o bien, un metabolismo que ejerce una presión en el ambiente y que, por lo tanto, se tiene que estudiar cada elemento que lo compone de tal forma que se pueda comprender en cuál fase del sistema existen fallas y provocan el impacto al ambiente. En un contexto urbano, el metabolismo se concentra en el intercambio de tres elementos: la materia, la energía y la información; este último elemento se genera a través del asentamiento urbano y su entorno natural (Howard, 1980, citado por Quintero y Tabares, 2015: p.26).

Por lo tanto, es posible retomar la perspectiva del sistema, desde el supuesto que una ciudad es un sistema complejo y como tal, ésta es capaz de consumir una amplia gama de materiales cuyos procesamientos y transformación derivan en una cantidad vasta de productos y subproductos que se incorporaran al sistema urbano (K' Akumu, 2007; citado por Quintero y Tabares, 2015: p.26). De esta manera, Girardet (1992; citado por Quintero y Tabares, 2015: 27) menciona que el metabolismo es un concepto con la capacidad de abstraer, contener y permitir la coexistencia de los elementos naturales de un determinado centro urbano con el contexto natural y artificial que lo rodea.

Visto de una perspectiva de ecología industrial, el metabolismo entonces engloba tres aspectos: 1) los flujos de materiales y recursos energéticos entrantes; 2) los flujos de desperdicios y emisiones; y 3) la retención de materiales como stock dentro de la industria de la construcción e infraestructura, es decir en el contexto urbano (Clift, Druckman, Christie, Kennedy y Keisrtead, 2015) y toma en cuenta todos los procesos que se presentan en ese sistema. Las observaciones que se hacen desde esta línea pueden ser sociales, económicos o físicos (Kennedy et al., 2007, citado por Clift et al., 2015: 5).

Desde la perspectiva de ecología urbana, el metabolismo, de acuerdo con Girardet (1992, citado por Castro, 2002: p.25), atiende la búsqueda de propuestas que solucionen la “consideración fisiológica del sistema urbano como parásito del medio ambiente”; dentro de este mismo pensamiento, el parásito –sistema urbano– debilita de manera progresiva al anfitrión –sistemas naturales y rurales– a través de diversos fenómenos considerados como síntomas irreversibles; estos pueden ser la erosión, desertificación, pérdida de diversidad biológica, entre otros. Esta relación conduce a un metabolismo lineal en el que el primer elemento cuando se incrementa, es decir que el número de parásitos se intensifica, pasa a eliminar al segundo o bien el medio natural, por lo tanto es imprescindible observar los ciclos de vida de los elementos que conforman el sistema urbano. En este documento el elemento estudiado es la vivienda.

1.4 Ciclo de vida

De acuerdo con Naik (2005), diseñar sustentablemente requiere tomar en cuenta las consecuencias a corto y largo plazo del impacto que tiene una determinada estructura y que todos aquellos involucrados en la industria de la construcción, que consideren todo el ciclo de vida de una edificación. Dentro de los principios con los que se rigen las evaluaciones de impacto ambiental se destaca el de la integralidad, donde Arboleda (2008: 9) en relación con el ciclo de vida, lo define así:

“[...] la inclusión de todos los componentes ambientales que puedan ser afectados por los proyectos (medios natural y social) y participar efectivamente en la definición del proyecto a lo largo de su ciclo de vida, desde el primer momento de concepción de la idea que dará lugar al mismo, hasta su desmantelamiento o abandono.”

Zabalza, Aranda y Scarpellini (2009: 2513), mencionan que el ciclo de vida de un edificio consta de cuatro etapas: la primera es la de producto –product stage– se compone de la materia prima necesaria para la elaboración de materiales y suplementos de la edificación, así como de su transporte y manufactura; la segunda etapa es la del proceso de construcción compuesta del transporte de materiales y equipo, y del proceso de construcción e instalación en sitio; la tercer etapa es la de uso, en donde se contempla el mantenimiento, la reparación, recubrimientos, uso operacional de energía –que incluye los sistemas de aire acondicionado y calentamiento de agua, y en el caso de edificaciones mayores, la iluminación–, y uso operacional de agua; la cuarta etapa es la del fin de vida o end-of-life-stage que considera la deconstrucción del edificio, transporte, el reciclaje o reúso y la disposición de los residuos (ver **tabla 1**).

Tabla 1. Cuadro resumen de la metodología de ciclo de vida.

Análisis de ciclo de vida	
Autores:	Valdez, 2011; Arista y Aguillón, 2013; Cárdenas, Muñoz, Riquelme e Hidalgo, 2015.
Descripción:	El análisis de ciclo de vida permite identificar desde el origen de un producto qué factores influyen y afectan en su elaboración y como resultado de su elaboración. Es una forma de explorar en un sistema cómo funciona y qué sucede en todas las fases que lo componen visto metabólicamente. Para la edificación se toma en cuenta el proceso constructivo y los materiales utilizados; el rendimiento térmico; el suministro, la distribución y uso de la energía; disponibilidad, calidad y eficiencia en el uso de agua potable; la disposición de residuos sólidos y líquidos antes, durante y después de la construcción; el financiamiento de la edificación y su diseño eficiente.

Fuente: Elaboración propia a partir de la bibliografía consultada.

De acuerdo con la Agenda de Construcción Sostenible (2017) el ciclo de vida de los materiales, de manera tradicional, consta de tres elementos: los recursos, el edificio y los residuos, es decir que este ciclo parte de la extracción y la transformación de los recursos, posteriormente se edifica con ellos, finalmente se convierten en residuos; sin embargo ésta agenda, también menciona la importancia de no cerrar el ciclo en los residuos sino que estos deben ser reincorporados al ciclo como nuevos recursos. El análisis de ciclo de vida, de acuerdo con la Sociedad de Toxicología y Química del Ambiente (SETAC, 1993; citado por Sabella, 2005: 2) se define de la siguiente manera:

“[...] es un procedimiento objetivo de valoración de las cargas energéticas y ambientales relativas a un proceso o una actividad, efectuado a través de la identificación de la energía, de los materiales usados y de los desechos vertidos al ambiente. La valoración incluye el ciclo de vida completo del proceso o la actividad, comprendiendo la extracción y el tratamiento de la materia prima, la fabricación, el transporte, la distribución, el uso, la reutilización, el reciclaje y el vertido final”.

Como instrumento para la valoración del deterioro medioambiental y aplicado al estudio de una edificación: permite conocer, dentro del sistema tecnológico, qué procesos –en su fase de producción y construcción– de los materiales constructivos tienen un impacto ambiental superior (Sabella, 2005: 2). Otra definición del análisis de ciclo de vida es el siguiente (Struble, 2003: 25 citado por Valdez, 2011: 19):

“El análisis de ciclo de vida (ACV) es un proceso objetivo para evaluar las cargas ambientales asociadas a un producto, proceso o actividad, identificando y cuantificando el uso de materia y energía, así como los residuos que genera. El estudio del análisis de ciclo de vida tiene en cuenta las etapas de: extracción y transformación de materias primas; producción, transporte y distribución; uso, reutilización, mantenimiento, reciclado y disposición final del residuo.”

Los factores que permiten promover el uso del ACV pueden ser los beneficios en el mercado; la adquisición de datos simplificados; etiquetado ambiental para edificios; objetivos ambientales enfocados en los edificios y el sector de la construcción; préstamos y subsidios para la reducción de impacto ambiental.

Sin embargo, existen algunos obstáculos por superar como los son los prejuicios acerca de la complejidad de los análisis de ciclo de vida, el poco conocimiento acerca del impacto ambiental, una baja demanda en los ACV, la falta de estandarización entre los resultados que arrojan los programas que calculan este tipo de análisis, sus precios elevados y la falta de cooperación por parte de las empresas manufactureras con los clientes interesados (Zabalza, Aranda y Scarpellini, 2009: 2511-2512). Otro aspecto importante que suelen dificultar los estudios a través del ACV es que en el marco del sector de la construcción, existe una limitación en la cantidad y disponibilidad de inventarios necesarios para una ejecución más detallada, es decir, más profunda y exacta (De Carvalho, 2001).

Los usuarios potenciales para esta clase de estudios metodológicos en el sector de la construcción se concentran principalmente en diseñadores urbanos, desarrolladores, asesores del gobierno, arquitectos e ingenieros y consultores externos (Zabalza, Aranda y Scarpellini, 2009: 2511), todos con el interés de colaborar en la reducción del impacto ambiental por parte de este sector. El ACV puede ayudar a establecer objetivos a nivel municipal, ayudar en la política de desarrollo de acuerdo con los diferentes tipos de uso de suelo e incluso a determinar objetivos ambientales dentro de un programa, todo esto dependerá o tendrá un mayor impacto según la etapa en la que se encuentre el proyecto (ver **tabla 2**).

Tabla 2. Aplicación del ACV con base en la relación de tipo de usuario y etapa del proceso en el sector de la construcción

Etapa del proceso	Tipo de usuario	Propósito del uso del ACV
Fase preliminar	Consultores y asesores del gobierno; diseñadores urbanos	Establecer objetivos a nivel municipal para establecer los usos de suelo y las áreas de desarrollo
Fase temprana de diseño (esquemas) y diseño detallado; Diseño de un proyecto de remodelación	Desarrolladores y clientes	Selección del emplazamiento; dimensión del proyecto
	Arquitectos (en colaboración con ingenieros)	Comparación de opciones de diseño (Geometría, orientación, elementos técnicos)
	Ingenieros y/o consultores (en colaboración con arquitectos)	Comparación de opciones de diseño (Geometría, elementos técnicos)

Fuente: Adaptación de: Application of LCA in building sector, Zabalza, Aranda y Scarpellini, 2009: 2511

Las normas de estandarización no son obligatorias legalmente debido a que son estándares voluntarios. Las ISO 14000 están orientadas a los sistemas de gestión ambiental (SGA) y dentro de este grupo, se encuentran las ISO 14040-14044 que tratan, de manera general, los principios y prácticas del ciclo de vida de un producto (ISO, 2006).

Shepelmann (2006: 1) argumenta que el ACV como herramienta permite “analizar y evaluar los impactos ambientales del ciclo completo de un producto” y menciona los objetivos propuestos por la SETAC para llevar a cabo un estudio de este tipo, entre los que se destacan los siguientes:

Brindar una imagen lo más detallada posible de las interacciones entre una actividad y el ambiente.

Contribuir al entendimiento en conjunto de la interdependencia entre la naturaleza y las consecuencias ambientales derivadas de las actividades humanas.

En conclusión, la vivienda es un elemento metabólico que se integra en el sistema urbano, tiene diversas connotaciones según la dimensión en la que se estudie; en este sentido la vivienda de interés social, testigo y eficiente, es el sistema de interés en este documento, y el análisis de ciclo de vida es la base para estudiar las unidades de análisis; sin embargo, esta clase de análisis son muy extensos, por lo que para fines de esta investigación, el estudio del ciclo de vida se limita en los materiales utilizados en la envolvente del edificio; el rendimiento térmico; el suministro, la distribución y uso de la energía; y en la disponibilidad, calidad y eficiencia en el uso de agua potable a través de ecotecnologías y dispositivos implementados en cada vivienda (Valdez, 2011; Arista y Aguillón, 2013, entre otros)

CAPÍTULO 2: MARCO NORMATIVO PARA LA VIVIENDA Y LA SUSTENTABILIDAD

Dada la magnitud de la temática de la vivienda, para su estudio, como se observó en el capítulo anterior, es posible incrustarla en diversas perspectivas teóricas. Sin embargo, es importante señalar que el estudio de la vivienda atendiendo a la problemática mundial de calidad de vida, bienestar social, fenómenos de rezago habitacional, asentamientos irregulares, incremento poblacional, pobreza extrema, entre otros, se ha concentrado principalmente en los campos de investigación de la sociología y la economía debido a que son aspectos que se mantienen presentes en las agendas internacionales. No obstante, dichas agendas han ido incorporando temáticas relacionadas a los problemas ambientales que se derivan del sector de la producción de vivienda.

Estas incorporaciones permiten la creación e integración de políticas y normativas que ayuden en la gestión de la vivienda de interés social, a través de sistemas de evaluación consolidados que permitan, por una parte, medir el nivel de la sustentabilidad de la vivienda en México, y por otra parte, promover el desarrollo de nuevos proyectos de vivienda sustentable en el sector público.

Así mismo, el cambio climático es una cuestión de relevancia tanto en las agendas internacionales como en las nacionales; la concientización del impacto que ejercen las emisiones de dióxido de carbono, entre otras, a la atmósfera, ha permitido la creación de normas que regulen los gases de efecto invernadero. En este sentido, resulta esencial la regulación y evaluación de las emisiones derivadas del sector de la construcción.

En un contexto nacional, la atención en las agendas internacionales y las temáticas de impacto ambiental y cambio climático se traslada en el establecimiento de la política ambiental, que se consolida en la década de 1980 y 1990 y se manifiesta en la agenda política mexicana, en donde previamente, los principales instrumentos en el Estado era la Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental creado en 1971 en un plano legal; y la Subsecretaría de Ecología incorporada en la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE) a partir de 1983 en el plano de gestión (Micheli, 2002).

En el presente capítulo se exponen las agendas internacionales desde el enfoque de la sustentabilidad e impacto ambiental; la normatividad en un contexto nacional así como la normativa aplicada para la eficiencia en el uso de la energía y el agua en la vivienda sustentable en México.

2.1 Agendas Internacionales

La Conferencia de Naciones Unidas sobre el Medio Humano llevada a cabo en la 1ra Cumbre de la Tierra celebrada en Estocolmo en 1972 es la primera reunión organizada por la Organización de las Naciones Unidas en la que se discutió acerca de cuestiones ambientales a una escala internacional en donde se declararon 26 principios sobre el medio ambiente humano que sirvieron de referencia para las futuras agendas internacionales.

Dentro de los 26 principios se destaca el derecho a la calidad de vida, la preservación del medioambiente y sus recursos; y la planeación de los asentamientos humanos; todo a través de la educación ambiental, el apoyo de la ciencia y la tecnología, cooperación internacional y la determinación de criterios internacionales (Declaración de Estocolmo sobre el medio ambiente humano, 1972).

2.1.1 Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medioambiente y el Desarrollo

Celebrada en 1992 en Río de Janeiro, en conmemoración de la 1ra Cumbre de la Tierra (1972), esta conferencia conocida también como Agenda 21, tiene por objetivo establecer una alianza mundial en la que se procure alcanzar los diferentes acuerdos internacionales en donde el plan de acción se basa en las dimensiones sociales y económicas; y la conservación y gestión de los recursos para el desarrollo.

En esta celebración se establece en un marco climático, la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera; para la diversidad biológica, su conservación y el compromiso de utilizar sus componentes de manera sustentable a través de la participación equitativa (CNUMAD, 1992)

Paralelamente, y debido a los procesos de industrialización, el volumen de los gases de efecto invernadero –GEI– en la atmósfera se ha incrementado, dando como resultado un cambio climático, por lo que las Naciones Unidas realizan la Convención en el Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, en 1992, en la que se crea el Protocolo de Kyoto y que es aprobado en 1997 para estabilizar las cifras de los GEI (CINU, 2017).

En este tratado se establecen metas para regular las emisiones y se diseñan mecanismos para que estas sean cumplidas a través de programas y medidas nacionales que los países comprometidos deben generar para emitir informes que reflejen las acciones que han tomado para mitigar el cambio climático.

2.1.1.1 Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible: Río +20

Esta conferencia toma lugar nuevamente en Río de Janeiro, en 2012, a 20 años de la Cumbre de la Tierra en Río de 1992. Aquí se abordan a través de la visión de “el futuro que queremos” los temas relacionados con la erradicación de pobreza; el desarrollo sustentable a través de la equidad social y la protección del medio ambiente; asentamientos humanos sustentables; el cambio climático; consumo y producción sustentable, entre otros. El compromiso de cumplir con todos los acuerdos y objetivos de las agendas elaboradas a la fecha, enfatizando en los derechos humanos, en las evaluaciones de los resultados obtenidos hasta la fecha, y volviendo a las tres dimensiones del desarrollo sustentable, el pilar ambiental, social y económico (CNUMAD, 2012).

2.1.2 Conferencia de Asentamientos Humanos: HABITAT I

La conferencia de Naciones sobre los Asentamientos Humanos, Hábitat I se lleva a cabo en Canadá en 1976 en donde se establecen los elementos que deben conformar los asentamientos humanos; estos son la vivienda, la construcción, la planificación, y su relación con el cambio ambiental y el desarrollo en dos escalas, la internacional y la nacional. Las problemáticas que se resaltan en este evento parten del crecimiento económico desigual, la presencia del deterioro social, económico y ecológico, la explosión demográfica a nivel mundial, el descontrol en la urbanización, entre otras (Hábitat, 1976).

Así mismo, promueven principios para la protección de los recursos naturales, la calidad de vida, priorizar a los individuos en el diseño de los asentamientos para mejorar sus condiciones a través del desarrollo equitativo y continuar con los principios de la 1ra Cumbre de la Tierra. Concluyen en que la vivienda y la urbanización son asuntos de escala global que deben ser atendidos de forma colectiva; por esta razón se crea el Centro de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos.

2.1.2.1 Conferencia de Asentamientos Humanos: HABITAT II

Para dar continuidad a los lineamientos de la Conferencia de Asentamientos Humanos celebrada en 1976, se lleva a cabo Hábitat II en 1996 en Estambul, en donde se establece que las ciudades son el mecanismo para un crecimiento global; la urbanización representa oportunidad; las autoridades locales deben ejercer mayor presencia; y el deber de dar reconocimiento al poder de la participación dirigida correctamente; y el objetivo universal en esta conferencia es garantizar vivienda adecuada para todos (Habitat, 1996).

Las declaraciones generales sobre los asentamientos humanos en Habitat II parten de la determinación para el mejoramiento de la calidad de vida; de las condiciones a nivel espacial, debido a que las ciudades y pueblos de los países en desarrollo, se encuentran en desventaja con relación a aquellos pertenecientes a países desarrollados, por lo que se propone mejorar el hábitat urbano, a través del mejoramiento de la infraestructura, los servicios públicos; y las oportunidades de trabajo tanto en zonas urbanas como rurales para contrarrestar el flujo migratorio de lo rural a lo urbano (Habitat, 1996).

2.1.2.2 Conferencia de Vivienda y Desarrollo Urbano Sustentable: HABITAT III

En la tercera conferencia de HABITAT llevada a cabo en 2016, se replantea bajo el enfoque de la vivienda y el desarrollo urbano sustentable, en la que establecen como elementos clave para una nueva agenda, las reglas y regulaciones urbanas, la planeación y diseño urbano, y el financiamiento municipal. Esta nueva agenda integra seis principios: la cohesión social y la equidad; los marcos urbanos; el desarrollo espacial; la economía urbana; la ecología urbana y medioambiente; y la vivienda urbana y servicios básicos (Hábitat, 2016).

En conjunto estos principios tienen por objetivos establecer políticas para el derecho a la ciudad; adoptar y habilitar un marco legal y regulatorio urbano; dar prioridad a la planeación territorial y espacial para un desarrollo urbano y rural que sea equilibrado e inclusivo; enfatizar en la importancia de los ecosistemas para las ciudades; establecer políticas de vivienda que respondan a las necesidades que el proceso de urbanización demanda en la actualidad (Hábitat, 2016).

2.1.3 Los Objetivos del Milenio

Los objetivos del milenio se desarrollan en la Cumbre del Milenio de las Naciones Unidas, conmemorada en el año 2000, con la finalidad de establecer objetivos y metas que puedan ser alcanzados en plazos definidos de tal forma que además se definan los compromisos con respecto a los derechos humanos, el buen gobierno y la democracia, como se refleja también en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medioambiente y el Desarrollo en Río+20.

Entraron en vigor en el año 2000, y establecen ocho objetivos que abordan la reducción de la pobreza extrema hasta el fomento por una alianza mundial para el desarrollo. En el objetivo siete se establece garantizar la sostenibilidad del medio ambiente a través de la ejecución de las siguientes metas: la incorporación de los principios del desarrollo sustentable dentro de las políticas y programas nacionales así como la reducción en la pérdida de recursos del medio ambiente; la disminución considerable de la pérdida de diversidad biológica en el año 2010; la reducción de la población sin acceso al agua potable y servicios básicos de saneamiento en un 50% para el año 2015 (Naciones Unidas, 2017).

2.1.4 La Nueva Agenda Urbana: Agenda 2030

La Nueva Agenda para el desarrollo sustentable o Agenda 2030 (que entra en vigor en 2015) se basa en los Objetivos del Milenio, no obstante, establece objetivos más amplios en los aspectos ambientales, económicos y sociales, en los que además se promueve la vida en sociedad de manera inclusiva. Entre sus objetivos se destacan el objetivo 7 y 8 en donde se asegura el acceso a agua, saneamiento y energía de manera sustentable; el 9 trata de la resiliencia en la construcción de infraestructura, y la industrialización inclusiva y sustentable; el objetivo 11 aborda los asentamientos humanos y su sustentabilidad; el 13 hace referencia a la lucha contra el cambio climático y sus impactos.

La agenda se basa en 4 elementos: la gente; el planeta; la prosperidad; la paz; y la colaboración, de esta forma se busca atender a todos los problemas que aqueja a la sociedad y al entorno en una escala mundial, para brindar prosperidad y paz a través de la colaboración de todos los actores que intervienen para alcanzar el desarrollo sustentable (UN, 2015) por lo que en términos generales, continúa bajo los mismos principios que las agendas previamente descritas.

2.2 Normatividad nacional

Las agendas internacionales movilizan la gestión de la legislación en las diferentes naciones para atender a las problemáticas ambientales detectadas por las Naciones Unidas; de esta forma, dentro de la legislación ambiental mexicana en términos de atribuciones ambientales en los diferentes órdenes de gobierno, se encuentra como principal rector, la Constitución Política de Estados Unidos Mexicanos (en sus artículos 4, 25, 27, 73 y 115); posteriormente la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, seguida de las leyes sectoriales (Ley de Aguas Nacionales, Ley General de Salud, entre otras); los tratados y acuerdos internacionales así como los reglamentos y decretos tales (Reglamento de seguridad, higiene y medio ambiente de trabajo, Reglamento en materia de transporte terrestre de materiales y residuos peligrosos, por mencionar algunos); y finalmente las Normas Oficiales Mexicanas, en la que la NOM-020-ENER-2011 es de profundo interés en este documento (Cantú, 2004; Padrés, 2015).

2.2.1 Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente –LGEEPA–

La Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente –LGEEPA– es reconocida como el instrumento rector de la política ambiental mexicana y entra en vigor en 1988 (LGEEPA, 2015); uno de sus instrumentos es el Ordenamiento Ecológico que regula el uso de suelo y las actividades productivas para preservar y aprovechar de manera sustentable los recursos a través de Planes de Desarrollo en cuatro diferentes niveles: territorial, regional, estatal, local y marino (Cantú, 2004; LGEEPA, 2015). De acuerdo con Sánchez y Palacios (2004) para que esta ley se desarrollara, fueron relevantes los siguientes sucesos:

- 1974: Es promulgada la Ley General de Población.
- 1976: Ley General de Asentamientos Humanos en donde se introduce el concepto de Ordenamiento Territorial de Asentamientos Humanos.
- 1982: Es aprobada la Ley Federal de Protección Ambiental, o bien, de Ordenamiento Ecológico y se crea la Subsecretaría de Ecología.

Con la LGEEPA vigente, se define formalmente el término de Ordenamiento Ecológico pero además para el año 2000 se introduce el concepto de Ordenamiento Territorial y se integra como un instrumento tanto en la planeación territorial en el Programa Nacional de Desarrollo y Ordenación del Territorio 200-1-06 como en el Programa de Ordenamiento Ecológico.

2.2.2 Ley General de Asentamientos Humanos (LGAH)

Como se mencionó previamente, la Ley General de Asentamientos Humanos se crea en 1976 sin embargo, es una ley sectorial que complementa a la LGEEPA así como a la Ley de Planeación y a la Ley de Desarrollo Urbano; en la LGAH se contemplan instrumentos como los programas nacionales y estatales de desarrollo urbano; programas de ordenación de zonas conurbanas; planes o programas municipales de desarrollo urbano y los programas de desarrollo urbano de centros de población (LGAH, 1976; Padrés, 2015). Con esta ley se busca promover ciudades eficientes, seguras y competitivas en las que se combata con la falta de infraestructura y equipamiento urbano; y propiciar un crecimiento territorial ordenado y planeado (LGAH, 1976).

2.2.3 Ley General de Cambio Climático

Dentro de las acciones para mitigar el cambio climático, a nivel nacional se crea la Ley General de Cambio Climático cuyo objetivo se basa en la garantía del derecho a un entorno sano así como establecer en los diferentes niveles de acción (federal, regional/estatal, y municipal/local) la adaptación al cambio climático y la mitigación de emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero, lo que permitirá: estabilizar las concentraciones de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y compuestos derivados en la atmósfera a través de su regularización; y reducir la vulnerabilidad de la población y los diferentes ecosistemas ante esta problemática (LGCC,).

2.3 Normativa aplicada para la eficiencia en el uso de energía y agua en la vivienda mexicana

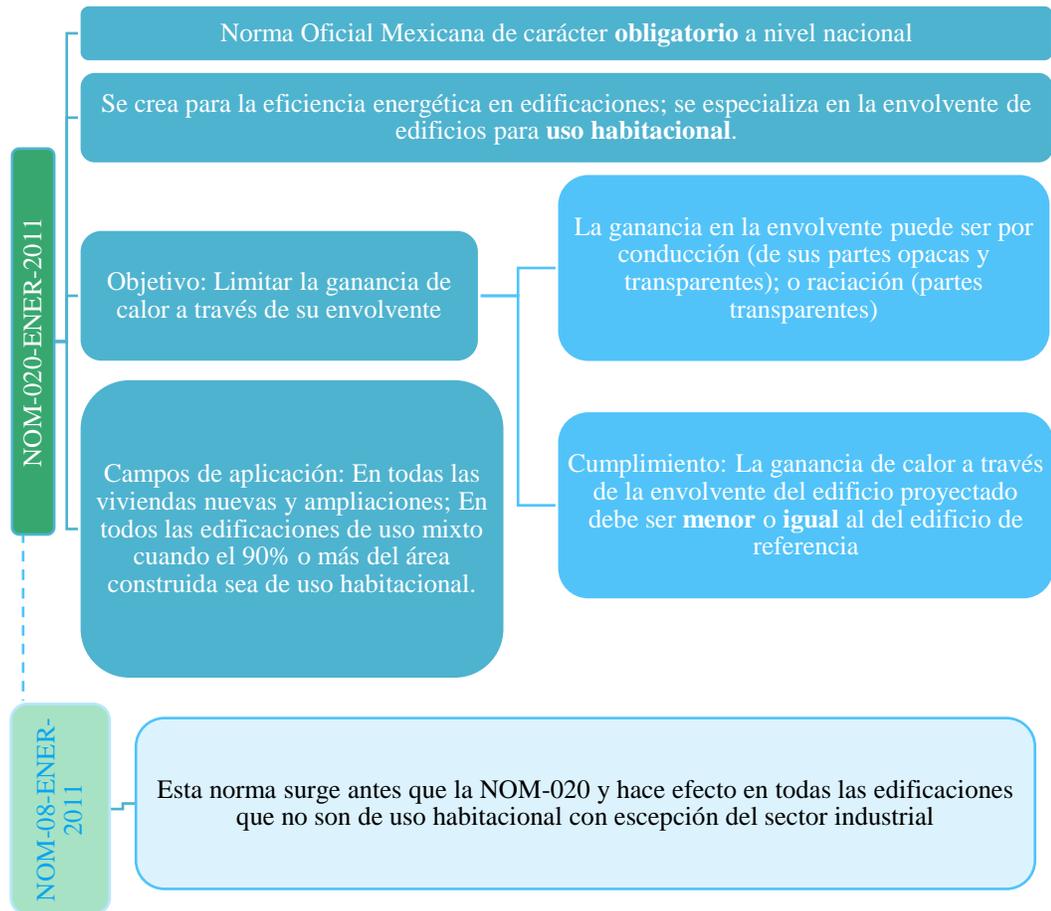
A continuación, se expone la normatividad aplicada en la presente investigación para la aplicación de las herramientas proporcionadas por ILUARCO. Se da inicio con la normativa NOM-020-ENER-2011 a través de la herramienta MET-R para determinar la ganancia de calor de un edificio de tipo residencial, posteriormente se explica el programa de SISEVIVE-Ecocasa en el que se desarrollan las herramientas DEEV_i y SAAV_i, para energía y agua respectivamente. Finalmente se exponen las Medidas de Mitigación Nacionalmente Apropriadas (NAMA) que brinda la pauta para continuar con los análisis a través del software Design Builder.

2.3.1 Norma Oficial Mexicana: NOM-020-ENER-2011

Con la finalidad de mejorar el estado medioambiental de la nación y preservar sus recursos naturales, dentro de las Normas Oficiales Mexicanas se establecen una serie de características y especificaciones que reflejan los límites máximos permisibles en materia de: aguas residuales; medición de concentraciones; emisiones de fuentes fijas; emisiones de fuentes móviles; residuos peligrosos; residuos sólidos urbanos y de manejo especial; protección de flora y fauna; suelos; contaminación por ruido; impacto ambiental; lodos y biosólidos (SEMARNAT, 2012).

Con la aplicación de los criterios de sustentabilidad a los desarrollos habitacionales financiados por el Infonavit –Hipoteca Verde– y la aplicación de subsidios del programa Esta es tu Casa, ejecutados por CONAVI, se genera un cambio importante en la forma de producción y comercialización de la vivienda de interés social: implementación de los criterios básicos para la Norma Oficial Mexicana NOM-020-ENER-2011 (ver **figura 3**).

Figura 3. Síntesis de NOM-020-ENER-2011



Fuente: Elaboración propia con base en ILUARCO, 2017

Con la ejecución esta norma se espera que el diseño térmico de edificios para uso habitacional mejore; que tenga una repercusión en la demanda pico del sistema eléctrico; que se optimice el diseño desde el punto de vista del comportamiento térmico de la envolvente; y que se presente un ahorro en el consumo de energía eléctrica por la disminución de la capacidad de los equipos de enfriamiento (ILUARCO, 2017).

2.3.2 Sistema de Evaluación de la Vivienda Verde -Sisevive-Ecocasa

Dentro del mercado y las políticas públicas se ha generado la necesidad de incorporar el desarrollo sustentable a través de la identificación de viviendas que promuevan las prácticas constructivas sustentables mediante el uso de materiales y tecnologías; esto representa la capacidad de incrementar la calidad de la vivienda edificada en México (ILUARCO, 2017).

Para lograrlo, es necesario implementar un instrumento que permita cuantificar y evaluar el desempeño energético y ambiental de las viviendas y que además sea reconocido y validado por las instituciones públicas y privadas, en materia de construcción, energía y agua por lo que INFONAVIT e Hipoteca Verde crean el Sistema de Evaluación de la Vivienda Verde Sisevive-Ecocasa (ILUARCO, 2017).

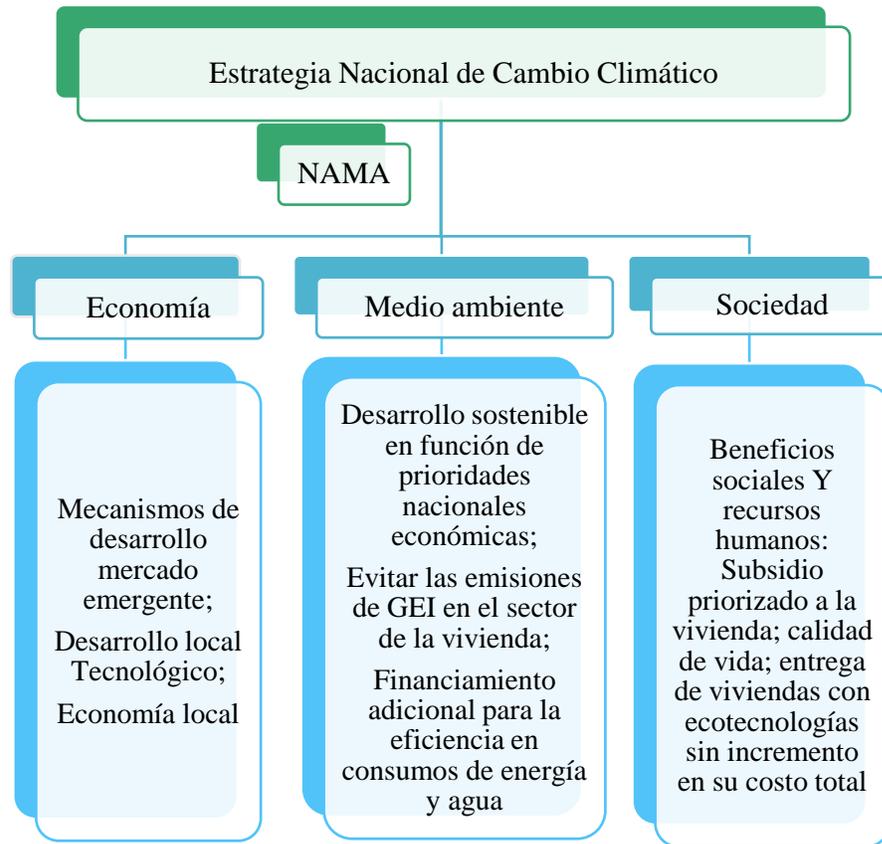
El Sistema de Evaluación de la Vivienda Verde Sisevive-Ecocasa permite hacer una evaluación integral de los elementos del diseño, características constructivas y tecnologías de cualquier vivienda ubicada en México. Además, otorga una mejor calificación a aquellas viviendas que tienen una menor demanda de energía y agua respecto a una vivienda de referencia con base en el confort térmico y el consumo racional de agua a partir de los resultados de las herramientas DEEVI y SAAVI.

Cuenta con un método de cálculo que consiste en la comparación de la vivienda a construir respecto a una vivienda diseñada y equipada de manera convencional (vivienda testigo). La calificación final se calcula en función del diseño arquitectónico, sistemas constructivos, materiales y tecnologías incorporados a la nueva vivienda (ILUARCO, 2017).

2.3.3 Medidas de Mitigación Nacionalmente Apropriadas: NAMA

Las NAMA de vivienda sustentable son las Medidas de Mitigación Nacionalmente Apropriadas (ver figura 9), su enfoque puede ser general, por sector o específico; y existen unilaterales, apoyadas o financiadas. Son el conjunto de instrumentos que certifican que la vivienda nueva en México será construida bajo lineamientos que optimicen el uso de energía y agua, mediante el diseño arquitectónico, así como el uso de tecnologías cuyo costo beneficio asegure la prosperidad del habitante, reduciendo el impacto en sistemas estatales (ILUARCO, 2017). La importancia de la implementación de las NAMA radica en el soporte que dan a la economía, el medio ambiente y la sociedad (ver **figura 4**):

Figura 4. Estrategia Nacional de Cambio Climático en función de las NAMA



Fuente: Elaboración propia, 2017; con base en ILUARCO, 2017.

Su implementación promueve conceptos costo-beneficio de eficiencia energética para todo el sector de vivienda con un enfoque particular hacia la población de bajos ingresos. Sus objetivos se basan, por una parte, en promover y extender la penetración de estándares básicas de eficiencia energética en todo el sector de vivienda nueva en México a través de asistencia técnica hacia medianos y pequeños desarrolladores de viviendas e incentivos financieros hacia ellos y los intermediarios; y por otra parte, en escalar los estándares en la eficiencia energética y medidas de reducción de carbono a niveles más ambiciosos (CONAVI, 2014).

En conjunto, las agendas y los instrumentos en la política ambiental pretenden buscar un equilibrio entre las acciones del hombre, el medio físico natural y el artificial; en este sentido el sector de la construcción influye mucho en las dinámicas del medio físico natural y artificial con relación al hombre. Y dentro del sector de la construcción, la vivienda influye a su vez con los elementos del medio urbano/rural.

De esta manera, tanto las agendas como la normatividad nacional poco a poco se han concentrado en la integración de objetivos que atienden la necesidad de crear vivienda sustentable y mejorar las condiciones del medioambiente, lo que posiblemente permita el mejoramiento en las condiciones de la ciudad y sus procesos de urbanización.

Por lo tanto los estudios que se hacen con relación a esas temáticas también contribuyen para documentar las condiciones de las ciudades mexicanas, el contexto en el que se desenvuelven y las dinámicas del sector formal de vivienda y que como consecuencia tenga un impacto positivo en el reordenamiento de la vivienda del sector informal (Bazant, 2001).

CAPÍTULO 3: MARCO METODOLÓGICO

El capítulo anterior da la pauta a la formulación de una metodología con base en la perspectiva teórica del tema de investigación a través de los conceptos y teorías que se emplean en el estudio de la problemática a investigar. El marco metodológico es un apartado de relevancia debido a que en este se plasma el proceso claro a seguir, que parte de la recolección y análisis de la información para su correcto procesamiento (Corona, 2016). Al hablar de un proceso claro se entiende que a través de una serie de procedimientos y técnicas descritas de la manera más exacta se podrán cumplir con los objetivos de la investigación. Por lo tanto, deberán expresarse con una estructura lógica del proceso o los procesos seleccionados para ejecutar las actividades pertinentes dentro del desarrollo de la investigación (Yacuzzi, 2005).

Por lo anterior, el presente capítulo inicia con la discusión del enfoque de investigación, en donde se hace una descripción de los fundamentos teóricos para la selección de las metodologías y herramientas que se utilizaron para llevar a cabo la investigación. Por un lado, el método de estudio de caso, y por otro lado, el método de análisis de ciclo de vida. El primero se justifica por la necesidad de comparar dos unidades de análisis con características constructivas similares, pero con *variaciones internas*. El segundo se justifica, porque una vez definidas las similitudes y diferencias, es posible comparar las *variaciones internas*, es decir, los consumos de energía y agua que requiere cada vivienda estudiada, con lo que se desglosan los impactos al ambiente, reflejados en niveles de emisiones de dióxido de carbono.

Posteriormente, se desglosan los procedimientos y métodos utilizados, que se distribuyen en tres fases: la primera trata de la identificación de las unidades de análisis, la segunda trata de la selección en un contexto local y su caracterización; la tercera fase trata del procesamiento y análisis de la información, en donde se explican las herramientas utilizadas para el estudio de las unidades de análisis. En la última sección del capítulo se describen las viviendas de interés social seleccionadas (testigo y eficiente).

3.1 Enfoque de investigación

En la presente investigación, se realiza un análisis comparativo del ciclo de vida de dos viviendas de interés social –testigo y eficiente– para determinar el impacto ambiental derivado de los consumos de energía y agua. La investigación es de corte cuantitativo; basado en la combinación del método de estudio de caso y el de análisis de ciclo de vida.

El método de caso de estudio es definido por Yin (2009: 18) como “una indagación empírica que investiga a profundidad un fenómeno contemporáneo con relación a su contexto y dentro de su realidad, especialmente cuando los límites entre el fenómeno y el contexto no están claramente expuestos” por lo que es aplicable cuando se desea estudiar una problemática actual en función de su contexto sin que la cantidad de las variables a analizar sean un problema, ya que además, el autor menciona que este método permite múltiples fuentes de datos que permiten cubrir dichas variables. Este tipo de investigaciones puede conformarse de un caso simple o de múltiples casos que a su vez pueden estar compuesto de una o varias unidades de análisis (Yin, 2009; Castro, 2010).

Este método se compone de cinco elementos básicos para una investigación, las preguntas del estudio; proposiciones, hipótesis u objetivos del estudio; las unidades de análisis; la lógica que liga la información con las proposiciones u objetivos y el criterio para interpretar los resultados. Estos pasos conllevan a una indagación teórica previa a la recolección y análisis de cualquier dato o variable, que los correlaciona y sustenta la investigación además de enriquecerla, y a su vez la diferencia de metodologías similares pero que omiten este paso (Yin, 2009: 27). Esta metodología tiene la capacidad de sostener la investigación a través del planteamiento del problema así como para la selección y caracterización de las unidades de análisis; para fines de esta investigación, este método se apoya del análisis de ciclo de vida como una herramienta metodológica para determinar el impacto que ejercen las unidades de análisis en el ambiente (Valdez, 2011; Arista y Aguillón, 2013; Cárdenas, Muñoz, Riquelme e Hidalgo, 2015.)

Hablar de vivienda significa contemplar diversas dimensiones, como se vio en el capítulo anterior, para tener un campo de gran amplitud para la comprensión de la problemática que envuelve a este elemento medular de la estructura urbana. Delimitar su estudio permite acotar las acciones a llevar a cabo para aportar en el entendimiento y resolución del problema que se plantea en la vivienda a través de la investigación. Por lo tanto, con esta aproximación a la metodología es posible tener el esquema para llevar a cabo la investigación de una manera más clara y ordenada siguiendo la relación entre el marco teórico y el marco metodológico con base en la bibliografía consultada. De esta forma, fue posible determinar el estudio de caso y el análisis de ciclo de vida como las metodologías más apropiadas para el desarrollo de esta investigación.

3.2 Procedimiento y métodos empleados

Con base en las descripciones presentadas anteriormente, es posible, por una parte, seleccionar de manera apropiada los casos de estudio a través del método de estudio de caso y, por otra parte, analizar de forma más profunda los atributos de las viviendas seleccionadas con el fin de advertir el impacto en el ambiente que ejercen, considerando la envolvente de la vivienda y los consumos de energía y agua a través del análisis de su ciclo de vida.

Esta investigación se conduce a través del estudio de caso, que es de tipo simple con dos unidades de análisis debido a que ambas unidades serán estudiadas a través de las mismas variables. El caso de estudio comprende la evaluación comparativa de dos viviendas de interés social (testigo y sustentable) para determinar el impacto ambiental con base en el análisis de sus ciclos de vida; por lo tanto, las unidades de análisis en esta investigación son las dos viviendas de interés social: Testigo y eficiente.

3.2.1 Fase 1. Identificación de las unidades de análisis

Como primera fase, se identificaron las unidades de análisis a través de la delimitación de criterios para la selección de viviendas de interés social, en donde se debe cumplir con lo siguiente:

- Unidad de análisis 1 (Vivienda testigo): Una vivienda de interés social ubicada en un fraccionamiento de interés social –convencional– edificado antes del 2011.

- Unidad de análisis 2 (Vivienda eficiente): Una vivienda de interés social ubicada en un fraccionamiento de interés social –eficiente– edificado después del 2011 o bien, que se incorpore a algún Programa de Eficiencia Energética o Sustentable.
- Las viviendas seleccionadas en cada fraccionamiento deberán tener misma superficie (metros cuadrados), sistema constructivo y orientación así como mismo número de usuarios.

Una vez determinadas los parámetros para la selección de las unidades de análisis, se procede a la identificación de los fraccionamientos dentro de la mancha urbana en los que se identifiquen las posibles unidades de análisis. En este sentido, se buscan dos fraccionamientos de interés social que cumplan con los criterios preestablecidos, pero que además, por cuestiones de accesibilidad, permitan una mayor disponibilidad de información. Con base en lo anterior se seleccionaron los siguientes fraccionamientos de interés social:

- Fraccionamiento convencional para vivienda testigo: Fraccionamiento Residencial del Prado, 2da sección.
- Fraccionamiento eficiente (agua y energía) para la vivienda eficiente: Ampliación Ángeles de Puebla.

3.2.2 Fase 2. Identificación de las viviendas y caracterización arquitectónica y constructiva

En esta fase se determinaron las unidades de análisis dentro de los fraccionamientos seleccionados y se procedió a la caracterización de las viviendas a través de fichas que desglosan su composición arquitectónica y constructiva con el fin de registrar los materiales con los que están construidas.

Como parte de esta fase, se elaboró un cuadro de operacionalización de variables (ver **tabla 4**) en el que a partir del objetivo general y los objetivos específicos de la investigación se exponen los conceptos principales y la dimensión en la que se insertan, con la finalidad de desglosar los elementos que los conforman, es decir, los criterios e indicadores y las variables necesarias para determinarlos.

Tabla 3. Cuadro de operacionalización de variables

<p>Concepto: Vivienda</p>	<p>La vivienda se refiere al ámbito físico-espacial que presta el servicio para que las personas desarrollen aquellas funciones vitales que resultan básicas (CONAVI, 2010).</p> <p>La vivienda sustentable indica el uso eficiente de los recursos; diseño para tener una larga vida útil; flexibilidad de adaptación al estilo de vida de sus usuarios; y en la medida de lo posible, su periodo de construcción y uso no debe generar impacto ambiental (Arredondo, 2014).</p>	
<p>Dimensión</p>	<p>Indicadores</p>	<p>Variables</p>
<p>Rendimiento térmico</p>	<p>Emplazamiento</p>	<p>Localización; clima; orientación del edificio</p>
	<p>Envolvente del edificio</p>	<p>Materiales de construcción; aislamiento térmico; tratamiento de fachada interno y externo para sombrear las ventanas; Aprovechamiento de cubiertas</p>
	<p>Iluminación natural óptima</p>	<p>Superficie vidriada; superficie opaca</p>
	<p>Ventilación natural óptima</p>	<p>Sistemas de ventilación: pasiva y/o mecánica Cambio de aire por día en la vivienda</p>
<p>Eficiencia energética</p>	<p>Equipamiento utilizado</p>	<p>Consumo promedio anual: Gas, electricidad, uso de fotovoltaicos Accesorios: Lámparas, aire acondicionado, electrodomésticos, etc.</p>
	<p>Enfriamiento de la vivienda</p>	<p>Aislamiento de techos y muros; sistemas de aire acondicionado; sistemas de ventilación natural</p>
	<p>Ahorro de energía</p>	<p>Entrega de energía excedente a la red = Total de electricidad usada / Electricidad proporcionada a la red</p>
	<p>Utilización de calor de desecho</p>	<p>Calor de desecho recuperado en la comunidad Calor de desecho generado en el desarrollo habitacional</p>
	<p>Calentamiento de agua</p>	<p>Sistemas de calentamiento de agua (uso de energía solar, calentadores eléctricos, calentadores convencionales)</p>

Disponibilidad y uso del agua potable	Supervisión de la calidad del agua	Incluido o no incluido
	Ahorro de agua	Volumen de agua usada por persona en el desarrollo habitacional; sistemas de ahorro de agua; elementos ahorradores de agua: llaves y sanitarios ahorradores.
	Jardinería	Volumen de agua usada por unidad de área ajardinada en la vivienda
	Captación y uso de agua pluvial	Volumen de agua usada / volumen de agua pluvial Sistemas de captación pluvial: Aprovechamiento de cubiertas; cisternas, otros sistemas.
	Tratamiento de aguas residuales	Volumen de agua usada / volumen de agua tratada
	Reúso de aguas tratadas	Volumen de agua usada / volumen de agua reusada
	Uso de energía renovable para bombeo de agua	Volumen de agua usada / volumen de agua bombeada con energías renovables
	Tratamiento de aguas negras y grises	Volumen de agua usada/ volumen de agua tratada
Residuos sólidos y líquidos	Escombros	Peso del escombros usado como material de construcción por unidad de área / peso del material usado por unidad de área
	Desechos durante la construcción	Peso del desecho usado como material de construcción por unidad de área / peso del material usado por unidad de área
	Residuos sólidos urbanos	Incluido o no incluido: Separación, almacenamiento, espacio para el volumen, plan de recolección separada.
	Área para elaboración de composta	Incluido o no incluido: Uso de sólidos para la composta
	Residuos peligrosos	Incluido o no incluido: Plan de separación y manejo de residuos
	Separación de sólidos	Incluido o no incluido: Planta de tratamiento
	Uso de los sólidos como materiales de construcción	Peso de sólidos usados como materiales de construcción por unidad de área especificada / Peso de materiales usados por unidad de área
Financiamiento	Capacidad de compra	Costo de la vivienda

	Incorporación de equipos innovadores	Incluido o no incluido
	Financiamiento verde (MDL)	Incluido o no incluido
Diseño y construcción del desarrollo habitacional	Máximas áreas verdes	Incluido o no incluido: Área verde
	Alternativas vehiculares	Vehículos privados; vehículos proporcionados por el desarrollo habitacional para transporte de la comunidad; transporte público
	Espacios recreativos	Andadores; Ciclopista; Parques; Centros deportivos; Centros comunitarios
	Ventilación natural	Potencial del confort exterior (para permitir el cambio de aire en las viviendas)
	Accesibilidad para personas con discapacidad	Incluido o no incluido: Señalización; circulaciones horizontales y/o verticales que faciliten el tránsito; zonas de descanso; iluminación apropiada; cambio de texturas
	Adaptabilidad	Estructura compatible con otros usos; Potencial para ser ampliado; Potencial para redistribuir los espacios; Optimización de claros; Aprovechamiento de garaje para otras actividades; Fachada flexible para cambio de uso
	Flexibilidad de estructura y revestimientos	Estructura y elementos de fachada fácilmente desmontables; materiales de estructura y revestimiento reutilizables o reciclables
	Organización de obra con bajo impacto al ambiente	Emplazamiento; Configuración espacial; técnicas de construcción previstas; Procesos constructivos; tipo de acceso a la obra y medios de transporte de los materiales; duración de la obra
Servicios adicionales	Escuelas y espacios comunitarios	Capacidad de las escuelas; número de niños expectativa del desarrollo habitacional; parques; centros comunitarios
	Transporte público	Asientos promedio por día del transporte público; número de personas en el desarrollo habitacional
	Telecomunicaciones	Incluido o no incluido: Servicio telefónico, de cable e internet.
	Vigilancia	Incluido o no incluido: Casetas de vigilancia, patrullaje.

Concepto: Análisis de ciclo de vida	El ciclo de vida representa las etapas del sistema que compone un producto, interconectadas y consecutivas. Este ciclo va desde la adquisición de la materia prima o bien, su generación a partir de los recursos naturales hasta la disposición final del producto terminado. El análisis de ciclo de vida implica la recopilación y evaluación de las entradas, salidas e impactos ambientales potenciales de un sistema que compone un producto (ISO14044, 2006).	
Dimensión	Indicadores	Variables
Fase 1: Extracción y transformación de materias primas	Topografía	Modificación de la topografía
	Paisaje	Modificación de paisaje
Fase 2: Producción (fabricación de materiales)	Corteza terrestre	Pérdida de corteza terrestre
	Estado del medio ambiente (Fase 2 y 3)	Niveles de contaminación: atmosférica; acústica; de suelo y agua
	Estado del medio ambiente	Niveles de contaminación: atmosférica; acústica; de suelo y agua
Fase 3: Empleo o uso racional de materiales	Consumo de recursos	Energía; Agua; Suelo
	Estado del medio ambiente	Niveles de contaminación: atmosférica; acústica; de suelo y agua. Daños a la salud por generación de toxinas y gases (ozono, radón y monóxido de carbono)
	Consumo de energía eléctrica Consumo de agua	Promedio mensual-anual de consumo de energía eléctrica (watts) Promedio anual de consumo de agua (m3 de agua)

Fuente: Elaboración propia con base en bibliografía consultada.

3.2.3 Fase 3. Procesamiento y análisis de la información

A partir del cuadro de operacionalización de variables y los resultados obtenidos de los cuestionarios, la información se procesó mediante el uso del software MET-R que permitió realizar los cálculos para la verificación de la norma NOM-020-ENER-2011. Posteriormente, se calculó el presupuesto energético, aire acondicionado, consumo de agua, emisiones de CO2 derivados del consumo de energía y agua. Se determinó el impacto ambiental del ciclo de vida de las unidades de análisis derivado de las emisiones de CO2 generadas a través del consumo de energía y de agua.

El software utilizado para el procesamiento de la información y la elaboración de los cálculos fueron los siguientes: MET-R, DEEVi, SAAVi, Simulador IDG y Design Builder. Con ellos se hizo la revisión comparativa de las diferencias entre las unidades de análisis y se determinó en qué consisten. Una vez identificando lo anterior se logró construir los resultados a partir de los datos obtenidos, se hizo la documentación y análisis de los mismos.

3.2.3.1 Descripción de las herramientas

El sistema cuenta con dos herramientas, el DEEVi (Hoja de cálculo para el Diseño Energéticamente Eficiente de la Vivienda) y el SAAVi (Simulador de ahorro de agua en la vivienda). En conjunto con el simulador de Índice de Desempeño Global –IDG– y el software Design Builder dan como resultado el impacto energético y medioambiental de la vivienda (ILUARCO, 2017).

3.2.3.1.1 Modelación para la Eficiencia Térmica Residencial (MET-R)

Esta herramienta se basa en la metodología de la Norma Oficial Mexicana NOM-020-ENER-2011 y fue desarrollada por la consultoría mexicana ILUARCO en 2013. Su objetivo es reducir las ganancias de calor a través de la envolvente de la vivienda y por lo tanto reducir la cantidad de energía necesaria para acondicionar climáticamente la edificación. Utiliza dos modelos: un edificio de referencia y uno proyectado. Para la presente investigación, en los campos del edificio de referencia se utilizaron los datos de la vivienda testigo, y en el edificio proyectado se utilizaron los de la vivienda eficiente. Es importante que ambos edificios tengan misma orientación y volumetría.

3.2.3.1.2 Diseño Energéticamente Eficiente de la Vivienda (DEEVi)

La primera herramienta, DEEVi (ver figura 11), está simplificada y orientada a las viviendas de interés social en México. Su objetivo es guiar a los usuarios hacia diseños de vivienda más sustentables y crear consciencia de las medidas clave que pueden ser aplicadas para la eficiencia energética en esta clase de edificaciones a través de la evaluación de la eficiencia energética de la vivienda (ILUARCO, 2017). Desde un enfoque integral de la vivienda (whole house approach), considera un edificio como un sistema energético con partes interdependientes, cada una con un impacto directo en el desempeño de todo el sistema con un balance energético para una ubicación y arquitectura determinada (INFONAVIT, 2014).

La herramienta permite elaborar una evaluación del balance energético de la vivienda en México, dentro del marco de SISEVIVE-ECOCASA; ingresar en la plataforma del Registro Único de la Vivienda (RUV); y desarrollar el cálculo informativo de la Norma Oficial Mexicana NOM-020-ENER-2011. El régimen operacional programado para la herramienta es en un rango de confort de 20 grados Celsius a 25 grados Celsius; ocupación de la casa promedio; ganancias internas de calor y ganancias internas de humedad con base en el consumo de electrodomésticos en México; condiciones

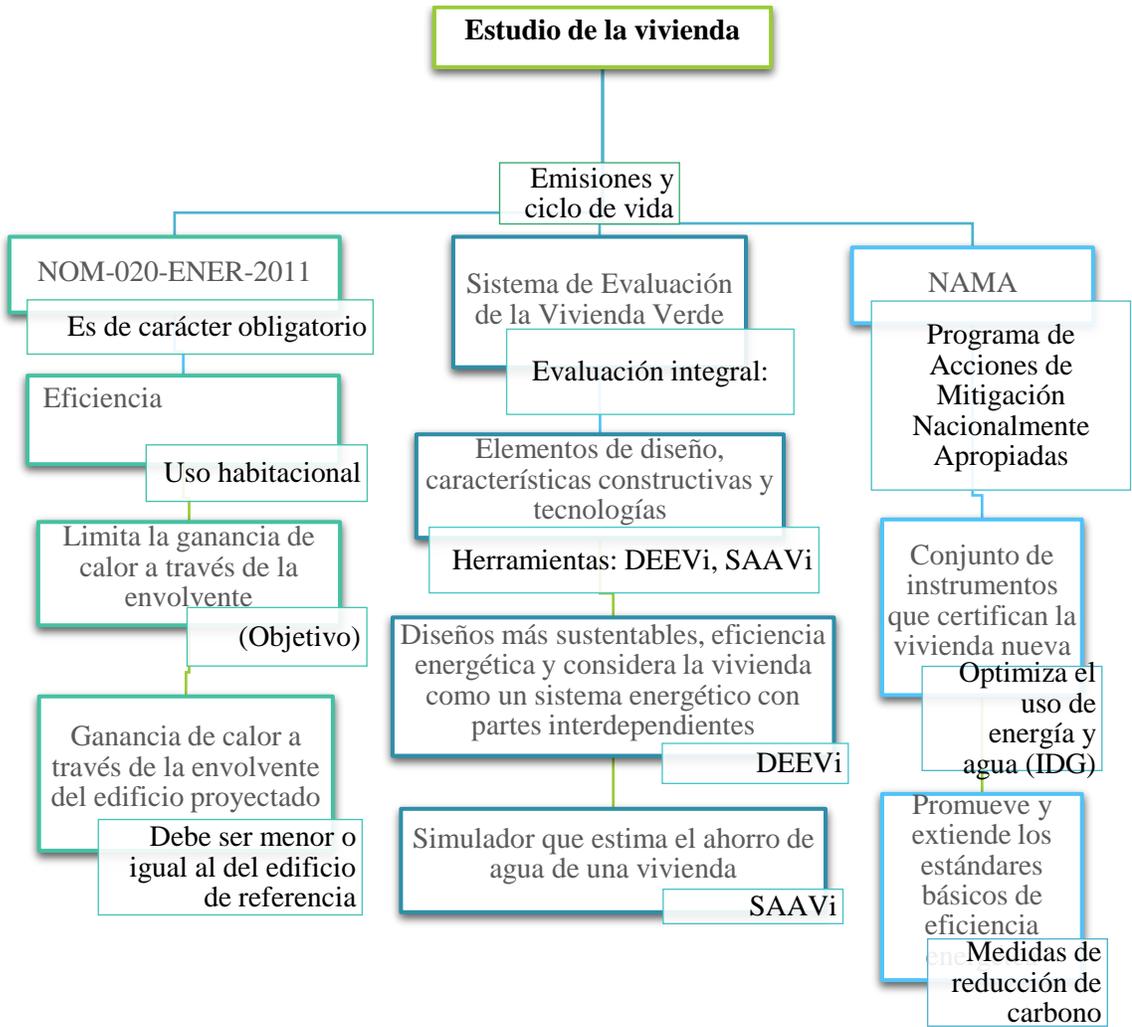
3.2.3.1.3 Simulador de Ahorro de Agua en la Vivienda (SAAVi)

La segunda herramienta, SAAVi, es un simulador cuyo objetivo radica en estimar el ahorro de agua en una vivienda a partir de la comparación de la eficiencia de los dispositivos de agua y el nivel de consumo de una vivienda de referencia (línea base). Esta herramienta se caracteriza por emplear la Normativa Mexicana para la construcción de los consumos de agua en la Línea Base; por contemplar en su cálculo los siguientes dispositivos: Inodoros, llaves de lavabo, regadera, lavadora, lavadero, llaves de fregadero, agua acumulada en la tubería de agua caliente sanitaria; valorar el consumo de agua en litros por persona día (L/p/día); y por estar elaborada en México y validada oficialmente por Conagua (F. Idea, GIZ, INFONAVIT).

3.2.3.1.4 Índice de Desempeño Global (IDG)

De acuerdo con el marco de Sisevive-Ecocasa, el Índice de desempeño global (IDEG) otorga una calificación a la vivienda analizada en términos de eficiencia energética y ambiental a partir de su demanda específica total, demanda de energía primaria y el consumo proyectado de agua (INFONAVIT, 2014). Esta herramienta responde a las condiciones climáticas y disponibilidad de agua en cada región del país, así como a la tipología de vivienda que maneja el programa: aislada, adosada o vertical. Las unidades de análisis corresponden a la vivienda aislada, porque no comparten muro o losa con otra vivienda. La escala de calificación va de la letra A que indica el valor de mayor eficiencia, hasta la letra G, que representa el valor con menor eficiencia. A continuación, en la **figura 5** se presenta una síntesis de las herramientas previamente descritas:

Figura 5. Síntesis de normas, programas y herramientas aplicados en la metodología.

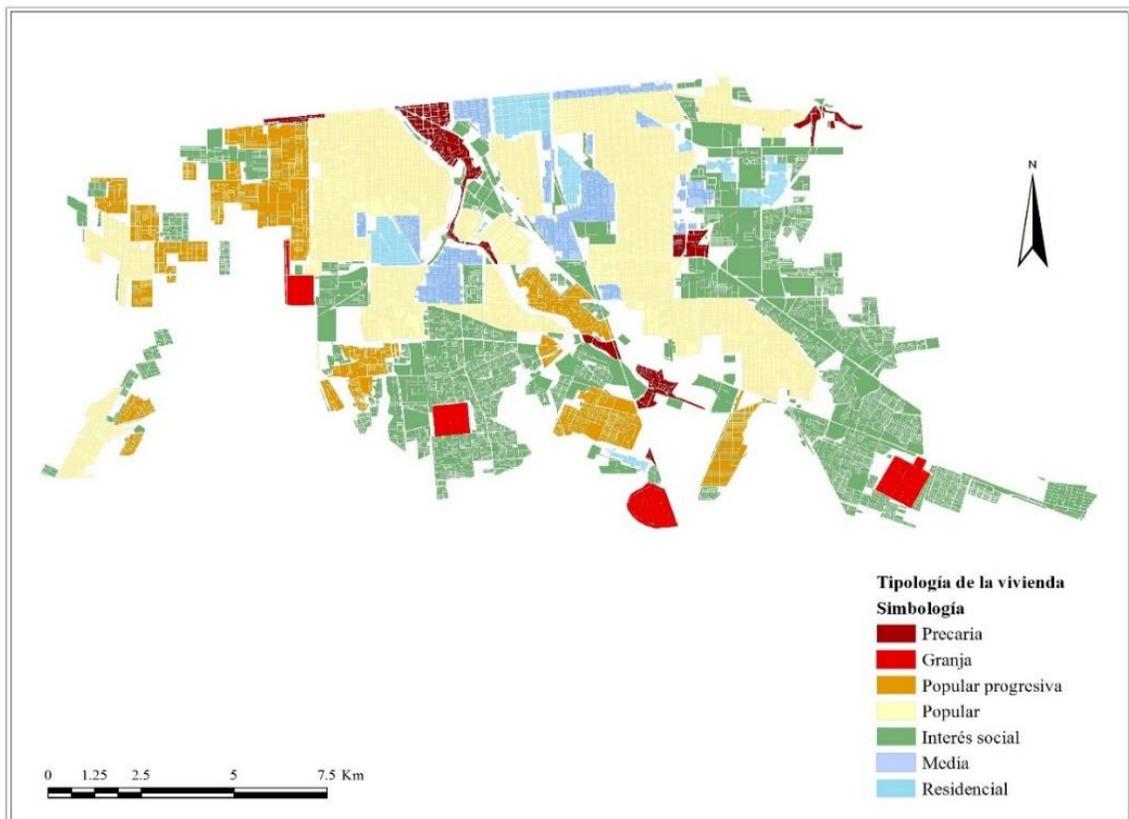


Elaboración propia, 2017; con base en ILUARCO, 2017.

3.3 Descripción de las unidades de análisis seleccionadas

Los fraccionamientos se encuentran ubicados en el municipio de Mexicali, Baja California; éste se caracteriza por su clima extremoso, cálido seco, con temperaturas que alcanzan los 50 grados Celsius (ILUARCO, 2017). Esta ciudad está seccionada en siete tipologías de vivienda, de acuerdo con los datos del Instituto Municipal de Investigación y Planeación – IMIP– (XXII Ayuntamiento de Mexicali, 2016), en donde predominan la vivienda popular y la de interés social (ver **figura 6**).

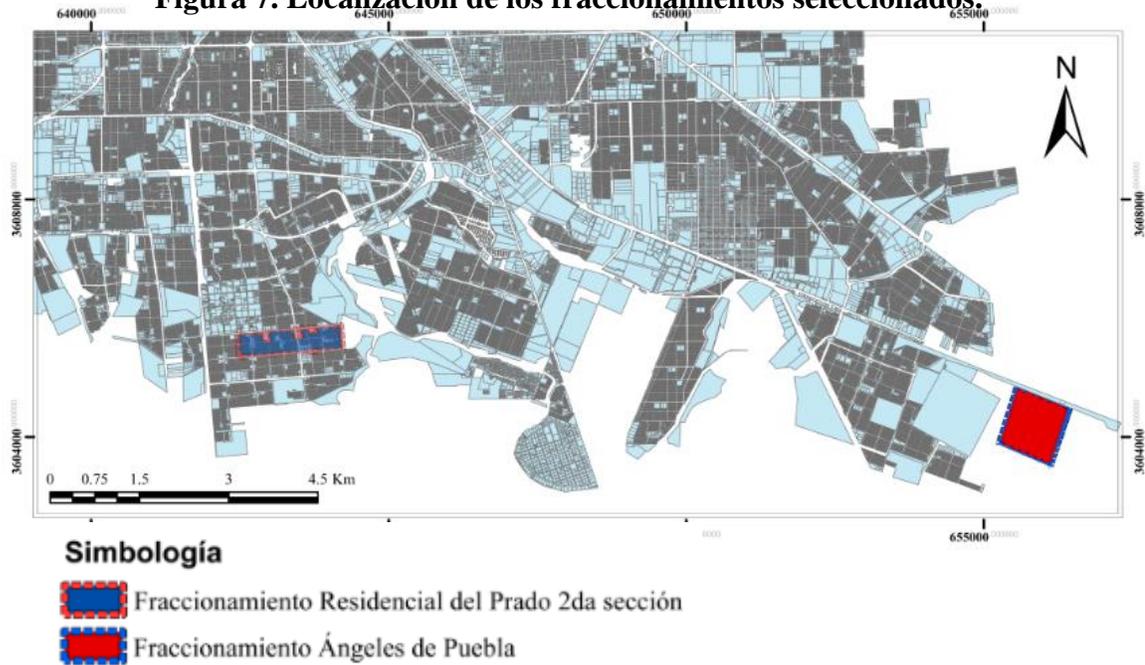
Figura 6. Tipologías de vivienda para la ciudad de Mexicali



Fuente: Elaboración propia, 2016; a partir del CENSO 2010; IMIP, 2016; y Salazar, 2016.

Para fines de esta investigación, el estudio se concentra en la tipología de interés social debido a que forma parte de la vivienda formal financiada por el gobierno y subsidiada por diversas instituciones para satisfacer la demanda de vivienda para los trabajadores. Las unidades de análisis se concentran en dos fraccionamientos dentro del municipio de Mexicali, Baja California (ver **figura 7**).

Figura 7. Localización de los fraccionamientos seleccionados.



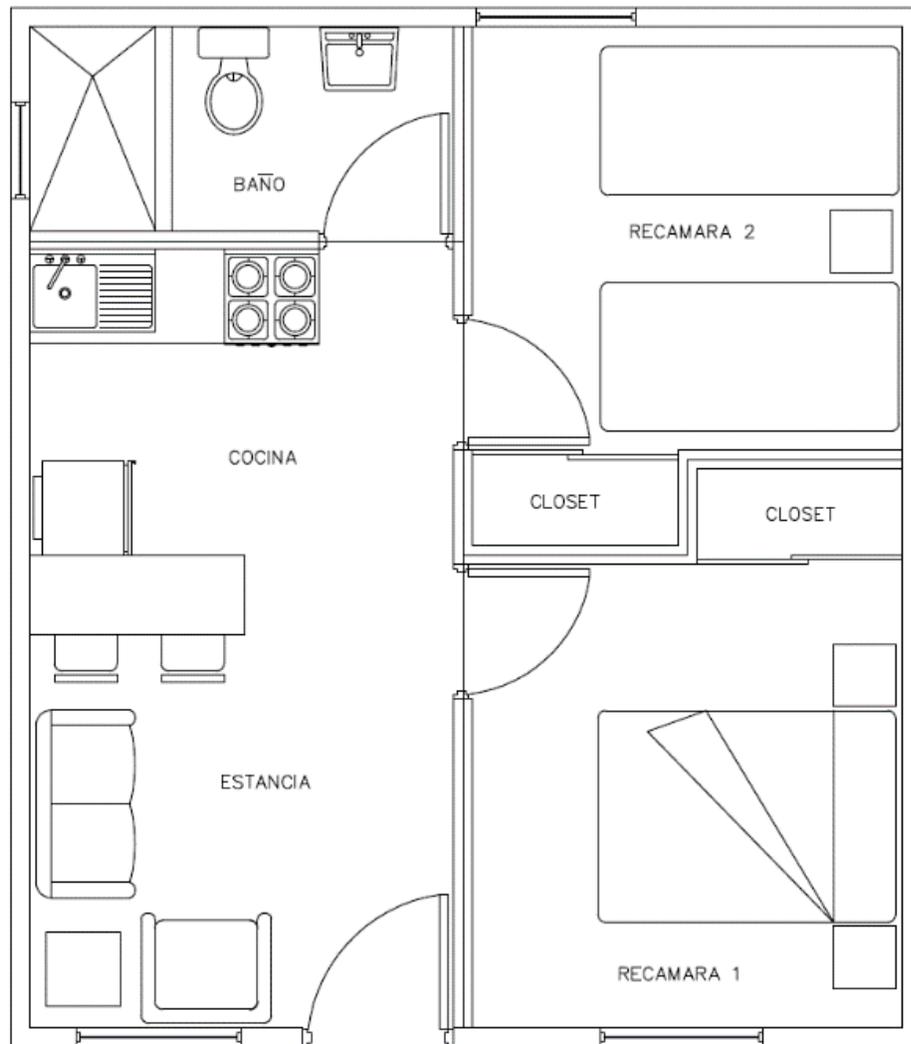
Fuente: Elaboración propia, 2017; con base en CENSO, 2010.

El primer fraccionamiento se encuentra localizado al sur de la ciudad, tiene una extensión aproximada de 67.37 hectáreas y cuenta con una orientación este-oeste localizado en el distrito 06 del municipio de Mexicali, en la delegación Cerro Prieto sobre Avenida Anáhuac. Fue construido antes de que se desarrollara la NOM-020-ENER-2011, por lo tanto, no sigue esta normativa. La selección de este fraccionamiento como primera unidad de análisis consta de su cumplimiento con los parámetros previamente establecidos y la disponibilidad de la información por parte de sus usuarios.

El segundo fraccionamiento se incorpora al programa federal Ahorra es cuando y se ubica al sur-este de la ciudad, con una extensión de 95.66 hectáreas, en el distrito 04 del municipio de Mexicali, en la delegación González Ortega sobre carretera San Luis Río Colorado. Fue construido después del desarrollo de la NOM-020-ENER-2011 por lo tanto se rige bajo sus parámetros. Las ecotecnologías implementadas para este programa de vivienda fueron de tipo pasivas y activas. Dentro de las ecotecnologías pasivas se consideró el aislamiento en muro y cubierta, y el sellado de puertas y ventanas; dentro de las eco-tecnologías activas se consideró el aire acondicionado con eficiencia 10 de 1.5 toneladas, refrigerador eficiente y medidor digital (ILUARCO, 2017).

Las unidades de análisis para ambos fraccionamientos se caracterizan de la siguiente manera: Vivienda de 38m²; un nivel; orientación este-oeste (ver **figura 8**). Sus muros están contruidos a base de block de concreto de 12cms y la cubierta a base de vigueta y bovedilla.

Figura 8. Esquema de planta arquitectónica de las unidades de análisis.



Fuente: ILUARCO, 2017.

CAPÍTULO 4: **ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS** **UNIDADES DE ESTUDIO –VIVIENDA DE INTERÉS** **SOCIAL TESTIGO Y EFICIENTE–**

Con base en el marco conceptual y el marco metodológico implementado se muestra el análisis comparativo de los resultados derivados de los criterios, aplicación de las herramientas y normativas en las unidades de estudio a partir de dos ejes de análisis. Los ejes analizados en los casos de estudio son dos, la energía y el agua, a partir de la influencia del sistema constructivo, la orientación, el número de usuarios y los dispositivos utilizados en la vivienda. Este análisis parte del cálculo de los consumos de energía y agua, con el fin de determinar las emisiones de CO₂ y el impacto que estas emisiones tienen en el ambiente.

Por consiguiente, el capítulo se divide en cuatro secciones, la primera trata de la evaluación de los casos de estudio en materia de energía; la segunda, trata de la evaluación de los casos de estudio en materia de agua; la tercera trata del índice de desempeño global, y la cuarta del impacto ambiental en términos de CO₂ incorporado al ambiente.

La evaluación en materia de energía se basa en el cumplimiento o no, de la Norma Oficial Mexicana NOM-020-ENER-2011 y el programa de acción de medidas para la mitigación NAMA, el cálculo de demanda de energía y emisiones específicas de CO₂ así como su demanda específica y la reducción de emisiones por ciclo de vida; por su parte, la evaluación en materia de agua se basa en la estimación de consumo de agua parcial, el consumo de agua total y el cálculo de las emisiones de CO₂ derivadas de la dotación de agua a las viviendas.

La simulación del Índice de Desempeño Global (IDG) parte de los obtenidos de las evaluaciones en materia de energía y agua del presente capítulo en donde se calcula hace un cálculo con base en demanda específica total de energía, la demanda de energía primaria y el consumo proyectado de agua; lo que permite observar el estado de cada caso en una escala de eficiencia energética a nivel nacional.

El análisis del impacto ambiental a partir del dióxido de carbono incorporado al ambiente y equivalente como resultados indicativos basados en las bases de datos Bath ICE entre otras, revela los impactos al ambiente considerando el ciclo de vida de las viviendas seleccionadas a partir de las características de la envolvente y sus consumos de energía y agua.

4.1 Evaluación de los casos de estudio en materia de energía

En este apartado se presentan los resultados de: la norma NOM-020-ENER-2011 –para iniciar con los cálculos de ganancia de calor, la demanda de aire acondicionado y el consumo eléctrico para cada caso–; la demanda de energía –que contempla la específica útil de refrigeración y la demanda específica total de energía primaria–; las emisiones específicas de CO₂ y porcentaje de reducción; y la reducción de emisiones por ciclo de vida.

4.1.1 Cumplimiento de la NOM-020-ENER-2011 y NAMA

La verificación de la NOM-020-ENER-2011 es la primera fase para determinar la ganancia de calor de las unidades de análisis a través de la herramienta MET-R. En la **figura 9**, se presentan los resultados obtenidos de la captura de la información para determinar la ganancia de calor en watts de las unidades de análisis (caso 1: Testigo y caso 2: Eficiente).

Figura 9. Cálculo de ganancia de calor con relación al cumplimiento de la NOM-020-ENER-2011.

	Caso 1: Testigo	Caso 2: Eficiente
Aislante	Muros y cubierta: Sin aislante	Muros: Poliestireno, 2" Cubierta: Poliuretano, 2"
Estimación de Costo por aislamiento (Pesos)	-	\$24,800.00
Presupuesto energético (ganancia total de calor)	3,745.05 Watts	1,298.93 Watts
Nom-020-ENER-2011: ≤2165.5W	Exceso: 1,580.00 Watts	Cumple: 40.00 %
Demanda de Aire acondicionado	2.00 Ton	1.00 Ton
Consumo eléctrico (verano)	2,880.00 kWh	2,016.00 kWh

Fuente: Elaboración propia

El caso 1 se refiere a la vivienda de interés social testigo –construida con block de concreto de 12cm de espesor y vigueta y bovedilla de 10cm– en donde no se presenta ninguna clase de tratamiento en sus muros y cubierta; el caso 2 se refiere a la vivienda de interés social eficiente –construida con block de concreto de 12cm de espesor y vigueta y bovedilla de 10cm– que se diferencia por el aislamiento en las cuatro fachadas con poliestireno de 2 pulgadas y la cubierta con poliuretano de 2 pulgadas como medida de acondicionamiento para la reducción de la ganancia de calor a través de la envolvente del edificio.

Lo que se obtuvo al cargar los datos es que la norma establece para una vivienda con las características de los casos de estudio –dimensión, orientación, número de usuarios, ubicación geográfica– una ganancia de calor igual o inferior a 2165.5 watts. El primer caso se excede por 1580 watts con respecto a la norma y el segundo cumple al 40% con 1298.93 watts. El primer caso requiere de 2 toneladas de aire acondicionado mientras que el caso dos reduce la demanda en un 50%. Estas demandas de aire acondicionado implican un consumo eléctrico 2880KWh para el caso 1 y 2016KWh para el caso 2. Estos consumos en conjunto, producen 1.68 y 1.18 toneladas de dióxido de carbono para el caso testigo y el eficiente respectivamente para un periodo cuantificado de mayo a octubre.

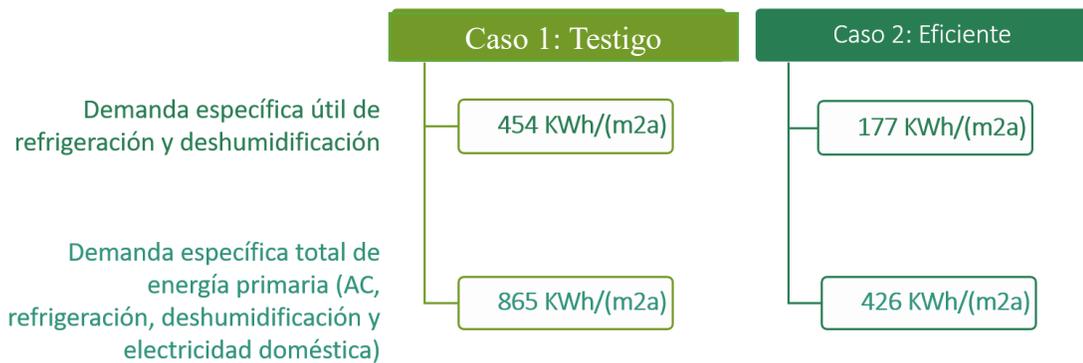
En el cumplimiento de la NOM-020 se expresó lo que representan los casos de análisis en términos de emisiones de CO₂ a partir de una demanda de energía derivada de la ganancia de calor, o bien, el presupuesto energético y la demanda de aire acondicionado. Sin embargo, para producir la energía necesaria para satisfacer la demanda de los casos de estudio, es necesario en primer lugar, que una determinada cantidad de energía en bruto o bien, energía primaria, sea transformada y en segundo lugar, ser trasladada a un centro de distribución que finalmente la enviada a cada vivienda –esto como parte del metabolismo urbano-. La fuente de energía para el caso de Mexicali, es la Geotérmica de Cerro Prieto, el centro de distribución está dado por CFE. Este proceso previo a la entrega de energía tiene un impacto en el ambiente en términos de CO₂. En el **anexo 1** se desglosan los resultados emitidos por el *software Met-R* para vivienda testigo y la vivienda eficiente.

Cabe mencionar que se modelaron escenarios alternos en donde se simulan los efectos del aislante en la cubierta y las diferentes fachadas del mismo prototipo de vivienda, pero con una variación en el espesor del aislante y en el sistema constructivo (ver **anexo 2** y **anexo 3**) en donde se simulan viviendas con muros y cubierta de concreto para fines de referencia, así como una combinación de block de concreto con cubierta “verde”.

4.1.2 Demanda de energía

Se realizó el cálculo de la demanda específica útil de refrigeración y deshumidificación, con lo que se observó un total de 454KWh/m² al año para el caso 1 y un total de 177 KWh/m² al año para el caso 2; en términos de demanda específica total de energía primaria, que contempla no solo el sistema de aire acondicionado sino la electricidad doméstica, se observó para el primer caso un total de 865 KWh/m² al año y para el segundo caso, un total de 426 KWh/m² al año (ver **figura 10**).

Figura 10. Demanda de energía de las unidades de análisis



Fuente: Elaboración propia

A diferencia de las emisiones obtenidas en la figura 9 a partir de la ganancia de calor de las unidades de análisis, en esta sección las emisiones son calculadas a partir de específica útil de refrigeración por metro cuadrado al año y la demanda específica total de energía primaria contemplando la refrigeración y la electricidad doméstica.

La última sección de la **figura 10** representa las emisiones totales de CO₂ equivalente, que se refiere a las emisiones derivadas de la energía primaria por lo que va más allá de la energía útil que necesitan los casos de estudio y las emisiones que esta emite, en el sentido de que explica el costo de la producción de energía útil que le significa a la fuente. De esta forma, satisfacer la demanda de energía de los casos de estudio significa emitir 187 Kg/m² y 93 Kg/m² anuales para el caso 1 y el caso 2 respectivamente.

4.1.3 Emisiones específicas de CO2 y porcentaje de reducción

De acuerdo con los estándares de Ecocasa, el margen de cumplimiento para considerar una vivienda “sustentable” es del 20% o superior en la reducción de emisiones de CO₂, este margen se establece con relación a una vivienda de concreto, que es la línea base del cálculo y que no presenta ninguna clase de reducción como ya se mencionó en la descripción de las herramientas en la metodología. Para una mejor comprensión de la siguiente información, en la **tabla 4** se muestra la descripción de las simulaciones y las unidades de análisis por código, utilizadas en las gráficas siguientes (**figuras 11 y 12**).

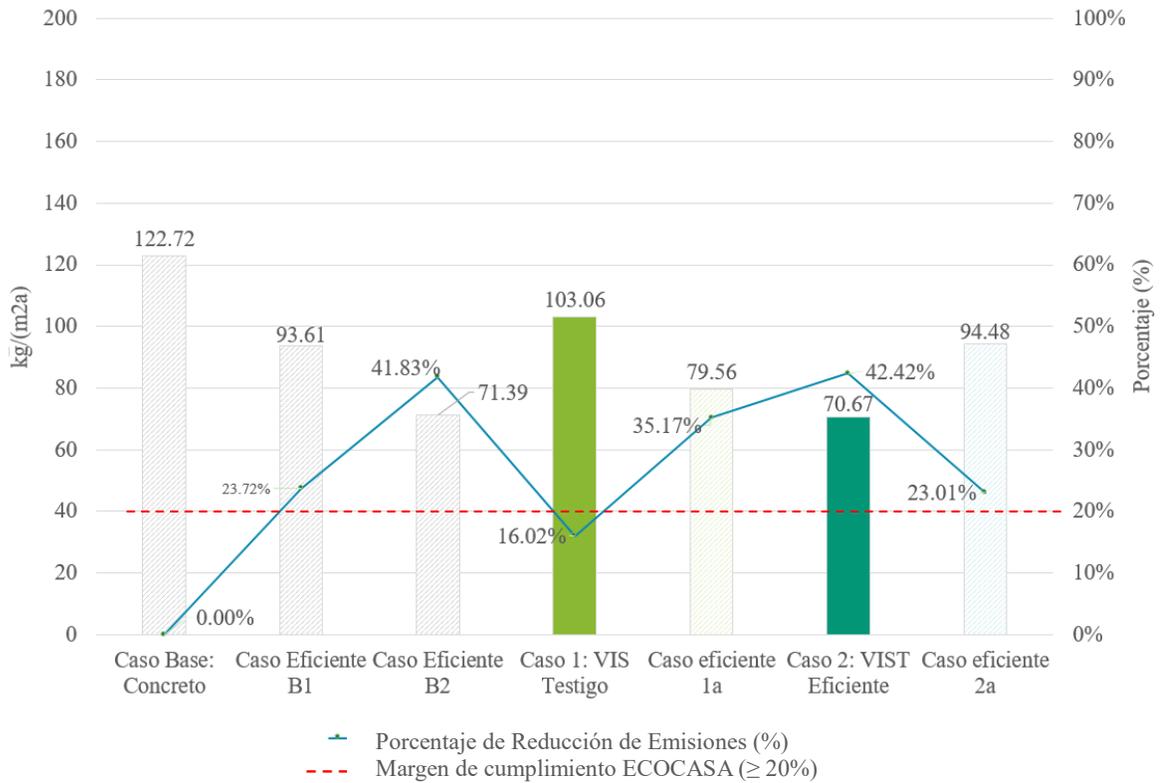
Tabla 4. Descripción de las simulaciones y unidades de análisis por código

Código	Descripción
Concreto	Caso base, según SISEVIVE. Sistema constructivo de concreto, 12 cm de espesor en muros y 10 cm de espesor en losa.
B1	Caso eficiente –simulación derivada de caso base–. Sistema constructivo de concreto, 12 cm de espesor en muros y 10 cm de espesor en losa, con aislante –poliestireno, 2”– en muros.
B2	Caso eficiente –simulación derivada de caso base–. Sistema constructivo de concreto, 12 cm de espesor en muros y 10 cm de espesor en losa, con aislante de poliestireno de 2” en muros y poliuretano de 2” en cubierta.
Testigo	Caso 1 de las unidades de análisis (vivienda de interés social testigo). Sistema constructivo de block de concreto de 12cms de espesor y vigueta y bovedilla de 10cms de espesor– sin aislante.
1a	Caso eficiente –simulación derivada de caso 1 y 2–. Sistema constructivo de block de concreto de 12cms de espesor y vigueta y bovedilla de 10cms de espesor con aislante de poliestireno de 2” en muros.
Eficiente	Caso 2 de las unidades de análisis (vivienda de interés social eficiente). Con sistema constructivo de block de concreto de 12cms de espesor– y vigueta y bovedilla de 10cms de espesor con aislante de poliestireno de 2” en muros y poliuretano de 2”en cubierta.
2a	Caso eficiente –simulación derivada de caso 1 y 2–. Sistema constructivo de block de concreto de 12cms de espesor y vigueta y bovedilla de 10cms de espesor con aislante de poliestireno de 2” en muros y poliuretano de 2”en cubierta.

Fuente: Elaboración propia

A partir del caso base se elaboró el cálculo para determinar las emisiones específicas de dióxido de carbono, a través de la herramienta DEEVi y el simulador de ECOCASA, dando como resultado para el caso 1, un valor de 103.03 Kg/m² al año de emisiones específicas de CO₂ mientras que el caso 2 registró un total de 70.67 Kg/m² al año (ver **figura 11**).

Figura 11. Emisiones específicas de CO₂ y porcentaje de reducción



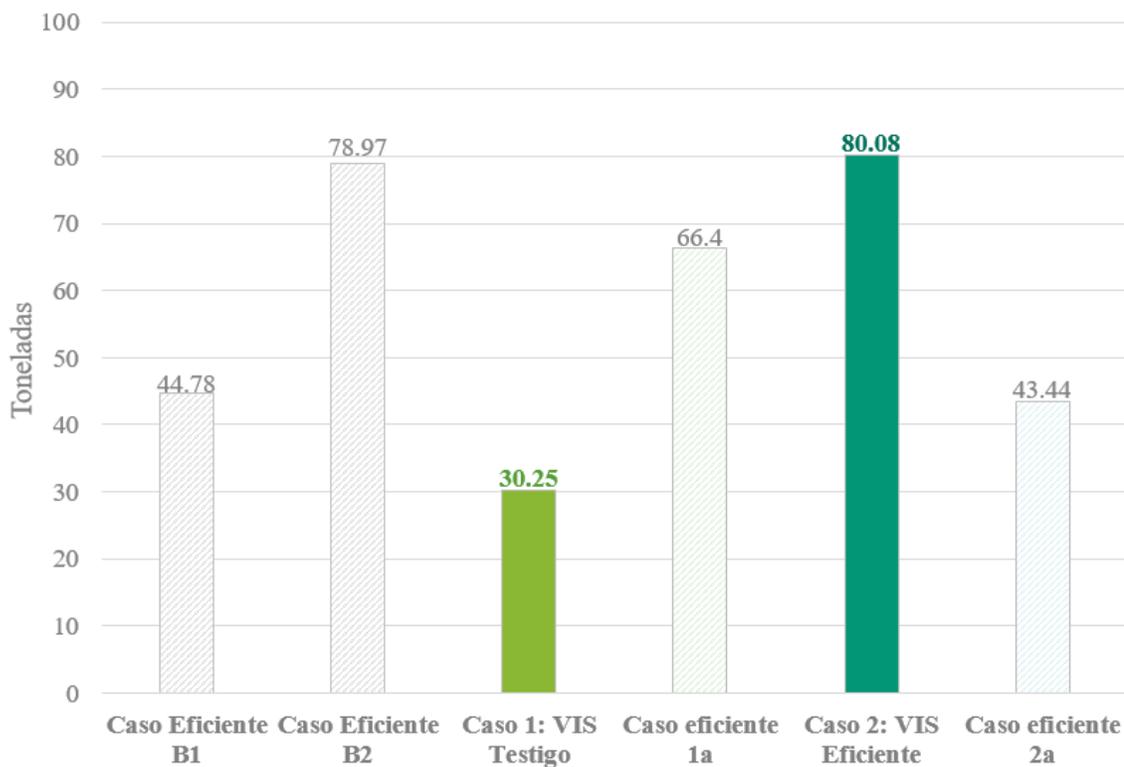
Fuente: Elaboración propia, 2017

Con esto establecido, en el análisis se incluyó no solo los casos de estudio sino también un caso base de concreto con las mismas características de los casos de estudio, pero también se agregaron escenarios alternos, en los que se varía el sistema constructivo y el aislamiento. La vivienda testigo –caso 1– se ponderó por debajo del margen de cumplimiento con un 16.02% de reducción de emisiones mientras que la vivienda eficiente registró un porcentaje de 42.42% (ver **figura 11**).

4.1.4 Reducción de emisiones por ciclo de vida

La reducción de emisiones por ciclo de vida representa la cantidad de emisiones que las unidades de análisis –por los efectos de la envolvente–, logra moderar sobre el ambiente a lo largo de su periodo de vida. Así, la reducción de emisiones de CO₂ por ciclo de vida para el caso 1 –testigo– equivale a 30.25 toneladas, mientras que el caso 2 –eficiente– alcanza a reducir hasta 80.08 toneladas de CO₂ (ver **figura 12**). Los escenarios alternos mostrados en la figura 15 corresponden a la variación de sistemas constructivos y aislantes con la finalidad de observar el comportamiento como referencia a los casos de estudio analizados. Analizando un escenario alternativo que considere la vivienda con el mismo sistema constructivo, pero con aislamiento únicamente en muros, reduce 1.19 veces más –66.4 toneladas de emisiones de CO₂ reducidas– (ver **figura 12**, caso eficiente 1-a).

Figura 12. Reducción de emisiones de CO₂ por ciclo de vida (toneladas)



Fuente: Elaboración propia

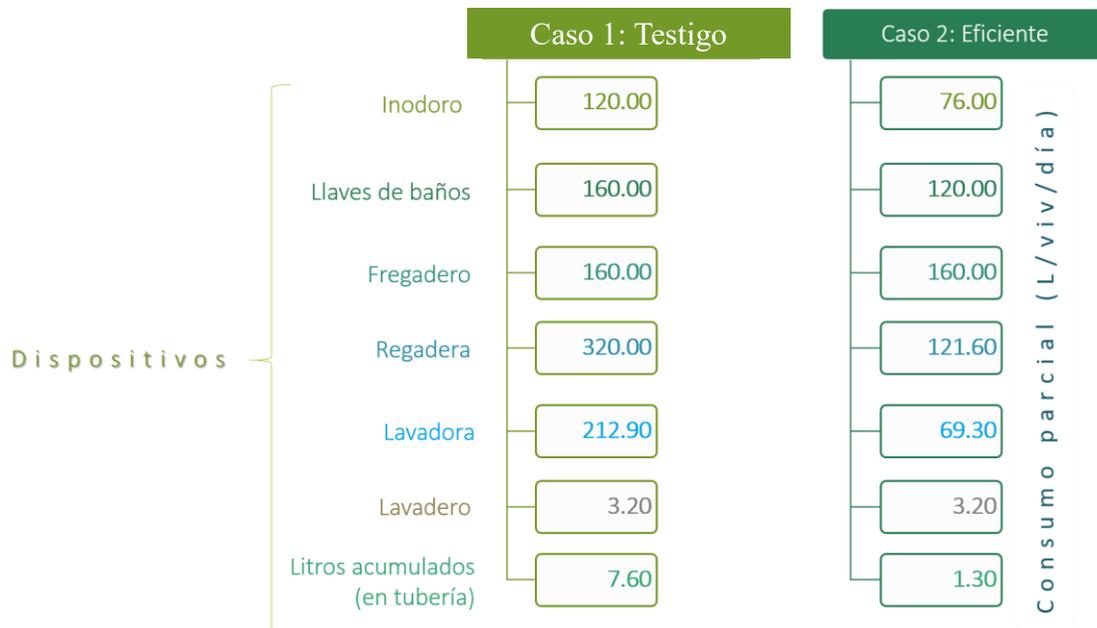
4.2 Evaluación de los casos de estudio en materia de agua

Este segundo eje, enfocado en el agua, presenta la estimación del consumo de agua parcial –en el que se desglosan los dispositivos analizados en cada caso de estudio–; los resultados del consumo de agua total –en el que se desglosa los consumos por vivienda, persona y los metros cúbicos anuales–; y las emisiones de CO₂ por metro cúbico.

4.2.1 Estimación de consumo de agua parcial

En esta sección se hace una estimación del consumo de agua de manera parcial de acuerdo a los dispositivos utilizados en cada vivienda para posteriormente hacer el cálculo del CO₂ producido para el abastecimiento de agua de las viviendas analizadas, correspondientes a la fase de producción y uso del ciclo de vida de la vivienda. Sin embargo no se contempla el ciclo de vida de los materiales con los que están elaborados los dispositivos de cada vivienda. Los dispositivos contabilizados para la estimación de consumo de agua parcial fueron siete, en los que se incluye además los litros acumulados en la tubería en donde se calcularon los litros por vivienda al día. En la **figura 13** se muestra el consumo parcial expresado en litros por vivienda al día para cada caso. En el caso eficiente, los únicos dispositivos que no tuvieron ninguna adecuación fueron el fregadero y el lavadero, obteniendo los mismos litros consumidos de acuerdo con el sistema de cálculo SAAVi.

Figura 13. Estimación de consumo de agua parcial por día



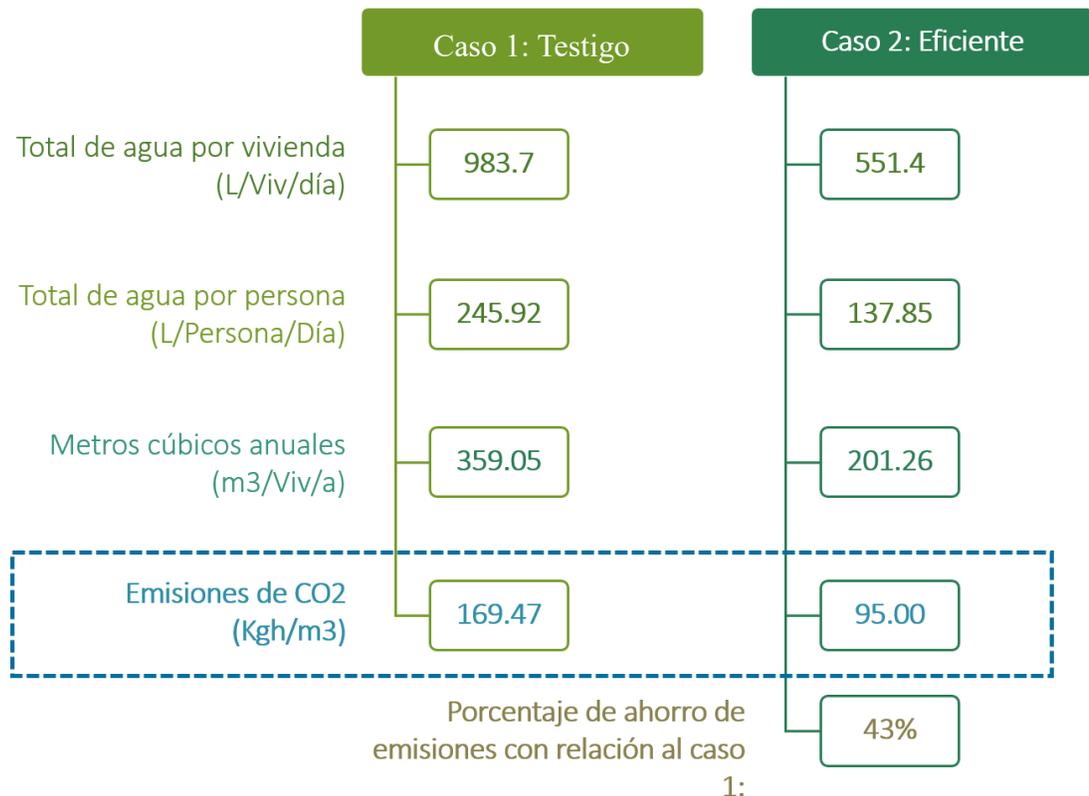
Fuente: Elaboración propia

En la estimación de consumo se observa que de los siete dispositivos cuantificados, en el caso testigo, la regadera es el que mayor consumo representa con 320 litros de agua por vivienda al día, mientras que en el caso eficiente, el fregadero es el que representa el mayor consumo con 160 litros de agua por vivienda al día; para ambos casos el lavadero es el dispositivo que representa el menor consumo de agua, aunque como se mencionó con anterioridad, el caso eficiente no tuvo ninguna adecuación en dicho dispositivo. Sin embargo, se observa que la tubería del caso 1 acumula alrededor de 7.60 litros de agua por vivienda al día mientras que el caso 2 acumula 1.30 litros.

4.2.2 Consumo de agua total y emisiones de CO₂

De acuerdo con los valores anteriores, se procede a calcular el consumo de agua total y las emisiones de CO₂ implicados para cada caso de estudio. En la **figura 14**, se muestra el valor total del agua consumida por vivienda y por persona al día en donde el caso 1 registró un total de 983.7 litros por vivienda al día y el caso 2 registró 551.4; lo que equivale a 245.92 litros por persona al día para el caso testigo y 137.85 litros por persona al día para el caso 2.

Figura 14. . Estimación del consumo de agua total y emisiones de CO₂



Fuente: Elaboración propia

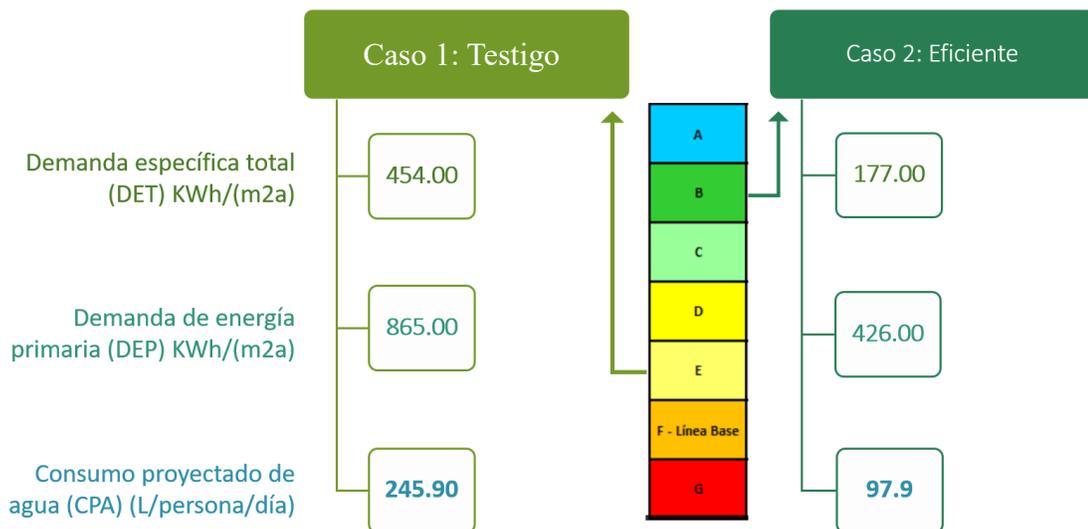
Con base en esos datos, se calculan los metros cúbicos anuales equivalentes totales, dando como resultado para el caso 1 un total de 359.05 m³/vivienda al año y 201.26 m³ para el caso 2. Con base en lo anterior, las emisiones de CO₂ que genera el caso 1 a través de su consumo de agua, es de 169.47Kgh/m³ mientras que el segundo caso genera 95Kgh/m³, lo que representa, un ahorro del orden del 43.94% con relación al caso de estudio 1 (ver **figura 14**).

Las emisiones de dióxido de carbono referidas en la figura anterior se refieren al costo de producción de un metro cúbico de agua, es decir, el costo de la energía primaria para bombear y transportar cada metro cúbico de agua necesario para satisfacer la demanda de los casos de estudio.

4.3 Índice de Desempeño Global (IDG)

Con base en los resultados de las evaluaciones previas en materia de energía y agua, se procedió a determinar el índice de desempeño global (IDG). Para obtener el IDG de las unidades de análisis, se calculan los valores de la demanda específica total y la demanda de energía primaria, pero además se incluye el consumo proyectado de agua en litros por persona al día –obtenidos del eje 2, agua–; la sumatoria da un puntaje de 22 lo que posiciona al caso 1 en el quinto lugar de la escala –E– mientras que el caso 2 se posiciona en el segundo lugar –B– con un puntaje de 77 (ver **figura 15**).

Figura 15. Índice de Desempeño Global (IDG)



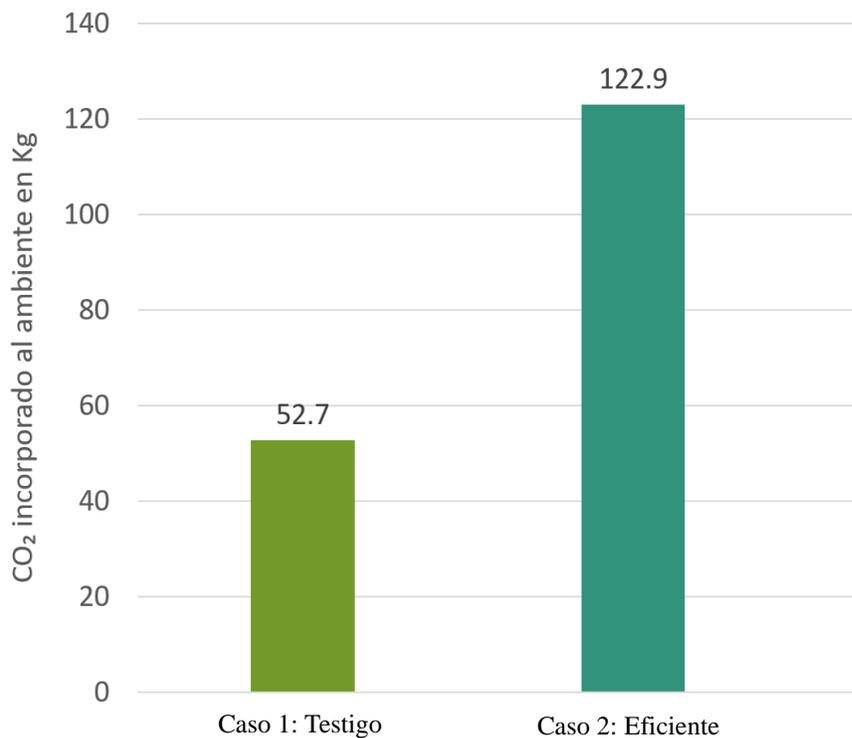
Fuente: Elaboración propia.

Se simuló además un escenario en el que se muestran los efectos de implementar dispositivos eficientes para el ahorro del agua en el caso testigo y otro escenario para observar los efectos de omitir los dispositivos para el ahorro de agua para el caso eficiente. En el primer caso se observó que el puntaje se eleva por 23 puntos lo que lo coloca en la cuarta posición de la escala con un total de 45 puntos –D–; en el segundo caso se observó que, al simular sin un ahorro de agua, su IDG decrece en 23 puntos lo que representa una caída de dos posiciones ocupando el cuarto lugar en la escala con un puntaje de 54 –D–.

4.4 Impacto ambiental: CO₂ incorporado al ambiente

Se hizo una estimación del carbono incorporado a partir de bases de datos de carbón puro obtenidas de Bath ICE entre otras para determinar el impacto ambiental de las unidades de análisis, sin embargo, el carbono incorporado asociado con la iluminación y los sistemas de aire acondicionado dejan de contemplarse en esta parte, concentrándose únicamente en aquel asociado a los efectos de materiales específicos en muros y cubierta (ver **figura 16**).

Figura 16. Dióxido de carbono incorporado al ambiente (embodied carbon)



Fuente: Elaboración propia, 2017

Así mismo, en la figura anterior (**figura 16**) se observa que el caso 1 –vivienda de interés social testigo sin aislante en muros o fachadas– produce un total de 52.7 KgCO₂; a diferencia del caso 2 –vivienda de interés social eficiente con aislamiento de poliestireno y poliuretano de 2 pulgadas en muros y cubierta respectivamente– que produce un total de 122.9 KgCO₂, es decir, 70.2 KgCO₂ más que una vivienda de interés social testigo sin aislamiento, lo que supone un mayor impacto al ambiente en términos de gases de efecto invernadero y calentamiento global asociados a los procesos de producción del block de concreto en combinación con el aislante implementado en estas viviendas eficientes.

En este capítulo se evaluaron dos viviendas de interés social: una a manera de testigo, con las características convencionales en la producción de vivienda de interés social; y una eficiente, que comparte características con la testigo, sin embargo implementa ecotecnologías para el aislamiento de la envolvente de la vivienda y para la eficiencia en el consumo de energía y agua, como equipo de aire acondicionado eficiente y dispositivos que permiten el ahorro en el consumo del agua.

En primera instancia, se observa que la vivienda denominada eficiente presenta ahorros significativos con respecto a la vivienda testigo, sin embargo, al evaluar los elementos que la hacen más eficiente, en este caso particular, el sistema de aislamiento, lo que refleja es que el costo en la producción del material, en el caso de la energía, invierte los resultados, demostrando que el caso eficiente resulta menos sustentable al producir el doble de emisiones de CO₂ incorporadas al ambiente en un ciclo de vida.

CAPÍTULO 5:

SUSTENTABILIDAD EN LA VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL

Con relación a los resultados obtenidos del análisis comparativo, los casos de estudio se diferencian únicamente por el aislamiento y los dispositivos para la eficiencia en el uso de energía y agua. Con esto, el caso testigo presenta una diferencia en el consumo eléctrico de 864Kwh para el verano con relación al caso eficiente; demanda el doble de toneladas de aire acondicionado y el presupuesto energético difiere por 2246.12Watts, es decir que la ganancia de calor del caso testigo es 1.88 veces mayor que la ganancia de calor del caso eficiente, lo que le impide cumplir con la NOM-020-ENER-2011 en un 72% con relación al margen establecido, $\leq 2165.5W$. En conjunto, estos valores se traducen en 1.68 toneladas de emisiones de CO₂ para el primer caso y 1.18 toneladas para el segundo caso –una diferencia de 50 toneladas de emisiones de CO₂ entre ambos casos–.

Cabe mencionar que, aunque en el caso eficiente, la medida para reducir la ganancia de calor de la envolvente es el aislamiento, la norma no establece que ese es el medio para cumplirla, por el contrario, se mantiene abierta a cualquier estrategia para cumplirla, pero al mismo tiempo deja un vacío en ella al no fijar ningún margen para atender las fachadas más críticas –este y oeste–, dejando la posibilidad a los desarrolladores, de atender aquellas que les represente menos recursos.

El cálculo de la demanda específica útil de refrigeración y deshumidificación, arrojó una diferencia de 185KWh/m² al año entre los casos de estudio, por lo que el caso testigo duplica la demanda específica útil de refrigeración; en términos de demanda específica total de energía primaria, que contempla no solo el sistema de aire acondicionado sino la electricidad doméstica, la diferencia es de 357 KWh/m² al año, lo que representa que el caso testigo demanda 1.83 veces más que el caso eficiente; estos valores implican emisiones totales de CO₂ equivalente a 169Kg/m² y 93Kg/m² anuales para el caso 1 y el caso 2, respectivamente.

La diferencia en emisiones específicas de CO₂ reflejó un total de 32.39Kg/m² al año entre las unidades de análisis lo que significa que el caso testigo emite alrededor de 31% más dióxido de carbono que el caso eficiente. Cuando se analiza con respecto al margen de cumplimiento de ECO CASA –en el que se especifica que para considerársele eficiente a una vivienda, tiene que reducir por lo menos un 20% de emisiones específicas de CO₂–, se tiene que el caso testigo está por debajo del margen por 4 puntos –16.02% total– mientras que el caso eficiente se coloca por encima del margen por 22.42 puntos –42.42% total– en la reducción de emisiones; por lo anterior, el porcentaje de reducción de emisiones indicó una diferencia de 26.4 puntos entre los casos de estudio, en donde el caso de estudio 2 reduce más emisiones con relación al caso de estudio 1 en un 62%.

De acuerdo con la simulación del caso base se comprueba lo anterior al observar los efectos en el ambiente del concreto como sistema constructivo para la vivienda de interés social. Los efectos parten del resultado derivado del presupuesto energético, este es muy elevado y alcanza los 6097.23 watts, es decir, 1.62 veces más que el caso de estudio 1 y 4.7 veces más que el caso de estudio 2; lo anterior se traduce en la producción de dióxido de carbono que oscila en 2.35 toneladas de CO₂ por vivienda.

La simulación del caso base indicó que éste produce emisiones específicas de CO₂ equivalentes a 122.72Kg/m² al año; este dato es el que utiliza el programa ECO CASA para determinar que el porcentaje de reducción del caso de estudio 1 es del 16.02% y del eficiente es de 42.42%. Con estos resultados es cuestionable el enfoque y la metodología de los programas federales para la evaluación de la vivienda verde, en el sentido de que siguen utilizando como referencia un sistema constructivo que resulta inadecuado para la ciudad, en todos los aspectos, como ya se mencionó.

Así mismo, el análisis de las emisiones durante el ciclo de vida sigue considerando el caso base de concreto como referente de acuerdo con la metodología de las herramientas de cálculo implementadas por el sistema de evaluación de vivienda verde; así el caso base no genera reducción alguna de emisiones a lo largo de su ciclo de vida.

La diferencia de reducción de emisiones entre los casos de estudio es de 49.83 toneladas, lo que significa que el caso de estudio 2 reduce 2.6 veces más toneladas de CO₂ que el caso de estudio 1. Sin embargo, es interesante resaltar que, al simular una vivienda de concreto aislado en muros y cubierta con las mismas características de orientación, dimensión y número de usuarios, reduce 78.97 toneladas de CO₂, es decir que existe una diferencia de 1.11 toneladas entre ese escenario y el caso de estudio 2.

El análisis en el segundo eje, enfocado al agua de la vivienda, fue muy limitado. El estudio se desarrolló a partir de la fase de uso de la vivienda, excluyendo la fase de producción de la vivienda en la que implican otros consumos de agua y se concentró en lo siguiente:

- Cuantificación del consumo de siete dispositivos básicos de la vivienda en los que se incluye el agua acumulada en las tuberías.
- Consumo de agua por vivienda y por persona al día
- Consumo de agua por metro cúbico al año
- Emisiones de CO₂ expresados en Kgh/m³

Las emisiones de CO₂ derivadas del consumo de agua total presentan una diferencia de 74.47 Kgh/m³. El factor de CO₂ para este cálculo es el establecido por la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Mexicali –CESPM– equivalente a 0.472Kwh/m³ (ILUARCO, 2017). La obtención de un dato como este es representativo en el sentido de que se utilizó un factor establecido por un organismo local, y se aplicó a dos modelos de vivienda de interés social que se están desarrollando en la localidad, el testigo y el eficiente; sin embargo, el estudio en esta parte, se encuentra limitado a una sola fase del ciclo de vida de la vivienda, la de uso y no se cuantificaron los impactos en términos de emisiones de CO₂, de los consumos de agua relacionados a la fase de producción de la vivienda ni a la fase de producción de los dispositivos básicos de la vivienda o las tuberías considerados.

El índice de desempeño global indicó que el impacto del consumo proyectado de agua por persona al día es muy elevado dentro de los cálculos de la escala: como se observó en el análisis comparativo, una reducción en el consumo de agua de 148 litros por persona al día representa una diferencia de 23 puntos o bien, una posición dentro de la escala IDG en un caso testigo en donde no hay ahorro de energía; sin embargo, cuando la vivienda es eficiente en energía pero se omite la eficiencia en el consumo de agua, representa la misma diferencia de puntaje que a un caso testigo, es decir, 23 puntos, pero esto le significa bajar dos posiciones en la escala –D– y colocarse en la misma posición que el caso testigo con un consumo proyectado de agua más eficiente.

La forma en la que se plantea la escala tiene que someterse a una revisión, debido a que para una ciudad desértica como Mexicali el ahorro de agua es muy importante pero también lo es el de la energía, y es evidente que una ciudad como esta, debido a sus condiciones climáticas requiere adecuaciones en las edificaciones para que sean habitables, en este sentido una escala de índice de desempeño global puede decir que el caso de estudio 2 es tan eficiente que ocupa el segundo lugar en ella y que el caso de estudio 1 ocupa el quinto lugar –apenas por encima de la línea base de la escala–.

Así, los datos obtenidos para los dos ejes bosquejan un panorama más amplio que la escala de IDG debido a advierten el impacto en términos de emisiones de CO_2 que las unidades de análisis representan para el ambiente, aunque enfocadas de manera específica en la fase de uso, con la excepción del cálculo de la demanda de energía primaria que requerida para satisfacer la demanda de energía doméstica –aire acondicionado, iluminación y los dispositivos básicos de la vivienda–.

En este sentido, el cálculo de carbono incorporado al ambiente o huella de carbono –embodied carbon– refleja algo más que el “desempeño global” de la vivienda o las emisiones que se generan en la fase de uso. Brinda un espectro más amplio de lo que las unidades de análisis representan para el ambiente ya que en este análisis se contempla además de la energía en la fase de uso, el impacto de la fase de producción de los materiales de construcción –en este caso se analizan los siguientes elementos: block de concreto, losa de concreto, vigueta y bovedilla, poliestireno y poliuretano como materiales predominantes en la investigación, pero también incluyendo el vidrio de las ventanas–.

Así, el análisis parcial de ECO₂ muestra que el caso eficiente incorpora más dióxido de carbono que el caso testigo debido al proceso de producción del poliestireno y poliuretano utilizado como aislante en el caso eficiente. Lo que resulta interesante debido a que, durante la investigación, el caso eficiente demostró una producción inferior de emisiones de dióxido de carbono en relación con el caso testigo, sin embargo, cuando se amplía la escala o la dimensión de análisis se observa que las medidas o estrategias para hacer la vivienda más eficiente tiene efectos contraproducentes, solo que estos no se contabilizan en los otros segmentos porque pertenecen a otra fase del ciclo de vida de la vivienda.

El análisis de ciclo de vida para determinar los impactos ambientales de los casos de estudio se pudo llevar a cabo únicamente de forma simplificada, en donde se delimitaron los ejes de análisis en la investigación. La intención inicial de la investigación era hacer un análisis completo del ciclo de vida de las viviendas de interés social seleccionadas, contabilizando todos los materiales y el impacto del proceso de su producción, uso y desecho o reutilización, según fuera el caso, sin embargo, por cuestiones de recursos y tiempo, la investigación se hizo de manera simplificada y en partes, acotándola de la siguiente manera:

- Envolvente, considerando los elementos principales como el block de concreto, vigueta y bovedilla, poliestireno y poliuretano según el caso de estudio, y ventanas.
- Energía, derivada de la ganancia de calor a través de la envolvente y el consumo requerido para el funcionamiento de las unidades de análisis.
- Agua, considerando el consumo de agua requerido para el funcionamiento de las unidades de análisis.

A partir de esos tres elementos, se determinaron los impactos ambientales que representan enfocados únicamente en las emisiones de dióxido de carbono o CO₂ asociadas al proceso de producción de los materiales establecidos –Embodied carbon ECO– y a las emisiones de CO₂ correspondientes al periodo de uso de la vivienda. Por lo tanto, se consideraron –de manera simplificada– las primeras dos fases del ciclo de vida de las unidades de análisis.

Como resultado de la simplificación del método de análisis de ciclo de vida se obtuvieron dos cuantificaciones del ciclo de vida para cada unidad de análisis: la primera se refiere a las emisiones de CO₂ generadas por vivienda al año a través de los consumos de energía y agua; y la segunda se refiere a lo que representa para el ambiente los procesos de producción de los materiales de la envolvente de una vivienda de interés social tanto testigo como eficiente.

El principal motivo por la implementación del análisis simplificado fue la falta de disponibilidad de inventarios, bases de datos y software accesible para el procesamiento más detallado y especializado de los datos necesarios para la realización del estudio; por tal motivo, los objetivos de la investigación se enfocaron en un análisis centrado en lo siguiente: la energía y el agua como ejes de estudio, las emisiones asociadas al consumo de estos recursos; y el dióxido de carbono incorporado al ambiente o huella de carbono asociados a los procesos de producción de la envolvente.

Con relación a los esfuerzos por reducir las emisiones de dióxido de carbono, un aspecto interesante que expone esta investigación es la existencia de un interés por atender los problemas ambientales, particularmente el calentamiento global a través de la reducción de emisiones de dióxido de carbono y mejorar la vivienda no solo a nivel mundial o internacional, sino a nivel nacional, por parte de la academia y el gobierno a través de diferentes investigaciones, estrategias, normativas y políticas públicas que buscan atender esa problemática dirigida a la vivienda de interés social. Sin embargo, ese interés aún no está consolidado en la práctica:

La NOM-ENER-020 calcula un valor óptimo o máximo de ganancia de calor en watts para la vivienda según sus características y localización; al igualar ese valor se dice que la norma se ha cumplido al 0%, el 100% equivale a un total de 0 watts. La norma no establece que se debe cumplir con un determinado porcentaje, por lo que su objetivo se reduce a que la vivienda cuando menos iguale el valor calculado como el máximo. La forma en la que se obtiene el valor depende de las medidas que se tomen en el diseño del fraccionamiento y las viviendas dentro de él, sin embargo, la perspectiva del desarrollador se enfoca únicamente el aislamiento de la vivienda y la implementación de equipos eficientes, no atienden las fachadas más críticas o cubierta sino las que resulten más económicas por la diferencia de metros cuadrados y que hagan cumplir al mínimo la norma.

En gran medida, las bases de datos con las especificaciones de los materiales de construcción no son del dominio público o se requiere de una licencia que permita hacer uso de ellas a través de softwares especializados; sus datos son el resultado de investigaciones elaboradas con los datos de materiales que atienden a otras especificaciones no necesariamente iguales a las mexicanas, por lo que se necesitan bases de datos robustas y con las especificaciones de los materiales utilizados a nivel nacional y local para que los análisis sean más acertados.

Los factores de cálculo utilizados en las herramientas y software implementados para estos análisis tanto en la escala gubernamental como en la escala empresarial –nacional y extranjera– no son homogéneos, lo que dificulta, por una parte, el análisis más efectivo dentro de un mismo estudio, y por otra parte, la comparación entre múltiples estudios y sus resultados.

Lo anterior indica que los usuarios de una vivienda de interés social testigo modificarán sus viviendas de acuerdo a su comodidad y hasta donde su presupuesto se los permita pero no necesariamente estará relacionado con la preocupación propia por reducir las emisiones de dióxido de carbono que sus viviendas y sus prácticas dentro de ella pudieran generar; a diferencia de las viviendas de interés social eficientes producidas específicamente para reducir esas emisiones como parte de los objetivos fundamentales dentro del marco del calentamiento global, dejando únicamente como un resultado secundario o adverso, el incremento en el confort de los usuarios.

COMENTARIOS FINALES Y CONCLUSIONES

En este apartado se exponen los comentarios finales y conclusiones referentes a los resultados obtenidos y a la discusión presentada en los capítulos anteriores. De esta manera la presente sección se divide, por una parte, en los esfuerzos para una planeación urbana sustentable en la ciudad de Mexicali, y por otra parte, en las propuestas y líneas de investigación futuras a partir de esta investigación, haciendo una reflexión final de la condición de la vivienda de interés social testigo y eficiente con respecto a los objetivos de los sistemas de evaluación de vivienda verde y las acciones de mitigación nacionalmente apropiadas.

Las limitaciones parten de los problemas técnicos y económicos con relación al acceso a softwares especializados propios por lo que el proceso de análisis se desarrolló de acuerdo con la disponibilidad del despacho ILUARCO para la utilización del programa MET-R, DEEVI, SAAVI, Ecocasa y Design Builder facilitado por el Dr. Roberto Calderón y el apoyo de sus colaboradores.

Una observación importante con relación a los valores anteriores referentes a las emisiones específicas de CO₂ y su porcentaje de reducción –como se mencionó en la descripción de las herramientas utilizadas en la investigación como parte de la metodología y el análisis comparativo de los casos de estudio–, se relaciona con el hecho de que su obtención parte de la comparación entre los casos de estudio y una simulación denominada caso base –con un sistema constructivo de concreto, pero las mismas características de orientación, números de usuario y dimensión– debido a que así lo establece la metodología del simulador ECOCASA y los sistemas de evaluación de vivienda verde bajo la premisa de que el concreto es el material base en la construcción de la vivienda en el país (ILUARCO, 2017). Este hecho se contrapone a lo expuesto en el sustento conceptual y el marco normativo en términos de sustentabilidad en la vivienda por lo siguiente:

Existen estudios en los que se demuestra que el concreto es poco o nada sustentable para la construcción. A lo anterior se le agrega las condiciones climáticas inherentes a la ciudad de Mexicali, en donde las investigaciones como las de Olvera (2014) y aquellas que indican los parámetros de una vivienda sustentable exponen que los materiales reutilizados o vernáculos son los más adecuados para la región.

Con base en los puntos expuestos en el capítulo anterior, es evidente que se necesitan hacer reestructuraciones en la política de vivienda y en la planeación urbana y unir esfuerzos con especialistas, desarrolladores, proveedores de materiales y todos aquellos involucrados en la generación de vivienda de interés social para que se haga una mejora en la producción de vivienda acorde a las necesidades que demandan las condiciones de la ciudad de Mexicali.

Para que esto suceda, los proveedores de materiales tienen que homologarse y ofrecer productos dictaminados para poder hacer cálculos más precisos; y los desarrolladores y profesionistas tienen que responsabilizarse de la forma en que están llevando a cabo los conjuntos habitacionales de interés social sean bajo el modelo testigo o eficiente y que cumplan con los lineamientos ya establecidos con el fin de que se puedan hacer mejoras.

En este sentido, es importante hacer la siguiente observación: la NOM-020-ENER-2011 entró en vigor desde el año 2011, pero en la ciudad de Mexicali, se siguen convocando reuniones para llegar a un acuerdo en su implementación, pero no se ve una cooperación entre los integrantes debido a que su preocupación se centra, como negocio, en los efectos o impactos económicos que le puede generar.

En un marco académico, se necesita realizar investigación constante y actualizada con respecto a la edificación de la ciudad y los impactos ambientales que representan en la actualidad o en un futuro; dado que el espectro del sector de la construcción es muy amplio, esta investigación se enfocó en la vivienda de interés social, al ser esta la tipología que se genera para satisfacer la demanda de vivienda para los trabajadores y se rige bajo lineamientos muy específicos.

Como consecuencia, es necesario que se lleven a cabo investigaciones dentro de esta misma tipología pero que amplíen los ejes de análisis para obtener el análisis de ciclo de vida completo, sin embargo, es importante, además, realizar investigaciones orientadas a otras tipologías de vivienda dentro y fuera de esta ciudad de Mexicali, extendiéndose a todo el estado y el país.

En el análisis de ciclo de vida de la vivienda en México, un proyecto importante es la elaboración de una base que contenga los materiales de construcción de la región, que integre sus especificaciones para poder desarrollar bases de datos abiertas que permitan la elaboración de estudios más completos, donde se puedan formar redes con otras regiones y hacer comparaciones tanto de las bases de datos como de los análisis generados.

Los resultados que arrojen se pueden relacionar y contribuir en la homogenización de los factores de cálculo para análisis de ciclo de vida más efectivos, así como en el desarrollo de bases de datos para el sector de la construcción, pero es importante que no solo se genere la información, sino que se comparta y quede a la disposición de todos los interesados en la materia para que se siga enriqueciendo el flujo de conocimiento.

Como continuidad al análisis realizado, sería interesante incluir una nueva fase dentro de la metodología propuesta para la implementación del instrumento diseñado a lo largo de esta investigación que permita hacer una evaluación posterior a los usuarios de los dos casos de estudio por medio de la entrevista semiestructurada. En este sentido es importante mencionar que el instrumento se diseñó para ser aplicado como fase intermedia y obtener los datos que alimentan al software.

Con base en la metodología propuesta es posible hacer un análisis comparativo de las diferentes tipologías de vivienda, es decir que contemplen no solo la vivienda formal, sino también la informal. Teniendo estos análisis es posible promover las reestructuraciones necesarias en términos de política de vivienda y planeación urbana para el replanteamiento en la forma de construcción en ciudades con características tan particulares como Mexicali.

Con la presente investigación se demuestra por una parte, que existe una reducción significativa de emisiones de dióxido de carbono a través de la vivienda de interés social eficiente por medio de las estrategias en el ahorro de energía y agua, por otra parte, se demuestra también que este tipo de vivienda incorpora más CO₂ al ambiente si se consideran los procesos de producción de los materiales que una vivienda de interés social testigo debido a que únicamente se diferencian por la implementación de aislante y equipos más eficientes, o bien, ecotecnologías de segunda generación como se denominan por CONAVI.

Siguiendo la metodología de los sistemas de evaluación de vivienda verde, efectivamente las viviendas de interés social testigo también representan una mejora en la emisión de CO₂ si se compara con una vivienda construida totalmente de concreto, como se hacía en otros tiempos, sin embargo, se destaca lo siguiente:

La situación actual de la ciudad no puede permitirse esas formas de comparación en donde el material base que da cabida a una serie de cálculos y análisis de reducción de emisiones, es un material que ha demostrado no ser el adecuado para zonas como Mexicali.

CONAVI ha hecho declaraciones públicas en donde afirman que México reducirá en un 100% las emisiones de CO₂ con aquella vivienda que implemente las acciones de mitigación nacionalmente apropiadas o NAMA por sus siglas en inglés , sin embargo, excluye aquellas emisiones originadas en el proceso de producción de los materiales que utiliza para hacer más eficientes las viviendas.

Con base en lo anterior es cuestionable el hecho de que se considere a INFONAVIT como un referente para la vivienda sustentable en el país, debido a que a pesar de que se han desarrollado documentos en donde establecen los criterios de sustentabilidad de manera general y específica por bioclima, de acuerdo con lo observado en las unidades de análisis y sus respectivos fraccionamientos, son pocos los criterios que se cumplen.

Existe una problemática relacionada a la metodología y disponibilidad de datos en los estudios orientados al análisis de ciclo de vida, si bien de manera general se rigen bajo los lineamientos de la ISO14040 e ISO14044, los factores de cálculo y las especificaciones de los materiales varían según la región, y en el caso de México, los cálculos se realizan con base en los factores establecidos por bases de datos extranjeras.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- XVIII Ayuntamiento de Mexicali. (2007). Programa de Desarrollo Urbano de Centro de Población de Mexicali 2025. Instituto Municipal de Investigación y Planeación Urbana de Mexicali (IMIP). Recuperado a partir de <http://imipmexicali.org.mx/planes>
- Agencia Iberoamericana para la Difusión de la Ciencia y la Tecnología (ADiCYT). (2011). El sector de la construcción genera el 36% de las emisiones de CO2 en la Unión Europea [Divulgación de la Ciencia y Tecnología]. Recuperado el 7 de abril de 2017, a partir de <http://www.dicyt.com/noticias/el-sector-de-la-construccion-genera-el-36-de-las-emisiones-de-co2-en-la-union-europea>
- Arboleda, J. (2008). Manual de evaluación de impacto ambiental de proyectos, obras o actividades. Medellín, Colombia.
- Arena, P. (2005). *Análisis de ciclo de vida y sustentabilidad ambiental de los edificios. Experiencias en Argentina*. Documento de la presentación presentado en CILCA 2005 -I Conferencia Internacional sobre *Life Cycle Assessment*, Costa Rica. Recuperado a partir de www2.medioambiente.gov.ar/ciplycs/documentos/archivos/Archivo_481.pdf
- Arista, G., y Aguillón, J. (2013). Análisis de ciclo de vida de materiales de construcción.
- Arredondo, A. (2016). *Dinámica y realidad urbana*. Presentado en Seminario de urbanización, globalización y regeneración urbana, Mexicali, Febrero-Mayo de 2016.
- Arredondo, C. (2014). Manual de vivienda sustentable: principios básicos de diseño (1a ed.). México: Trillas.
- Bazant, J. (2001). *Periferias urbanas: expansión urbana incontrolada de bajos ingresos y su impacto en el medio ambiente* (Ilustrada, reimpresa). México: Casa abierta al tiempo, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco.
- Brañes, R. (2000). Manual de derecho ambiental mexicano (2da edición). México: Fundación Mexicana para la Educación Ambiental.

- Bueno, E. S. (2003). Perspectiva desde las relaciones entre población y desarrollo. En *Población y Desarrollo: Enfoques Alternativos de los Estudios de Población* (pp. 96–121). Zacatecas: Unidad Académica de Ciencias Sociales.
- Calderón, R. (2017). *Eficiencia en energía y agua para las edificaciones de tipo residencial: Normativa y herramientas aplicadas*. Seminario presentado en Planeación de energías renovables, Facultad de Arquitectura y Diseño, UABC. Mexicali, Febrero-Mayo de 2017.
- Cantú, P. (2004). *Marco legal vigente en materia ambiental*. Sustentable presentado en VI Congreso regional de químicos farmacéuticos biólogos. Recuperado a partir de <http://www.respyn.uanl.mx/especiales/ee-10-2004/ponencias-pdf/p13.pdf>
- Castro, J. M. (2002). *Indicadores de Desarrollo Sostenible Urbano. Una Aplicación para Andalucía* (Tesis doctoral de economía). Universidad de Málaga, España. Recuperado a partir de <http://www.eumed.net/tesis-doctorales/jmc/>
- Centro Mario Molina. (2012). Evaluation of Housing Sustainability in Mexico.
- Clift, R., Druckman, A., Christie, I., Kennedy, C., y Keirstead, J. (2015). Urban metabolism: a review in the UK context. Foresight.
- Comisión Nacional de Vivienda (CONAVI). (2010). Código de la edificación de la vivienda. Gobierno Federal. Recuperado a partir de <http://www.cmic.org/comisiones/sectoriales/vivienda/biblioteca/archivos/CEV%20PDF.pdf>
- De Buen Rodríguez, O. (2010). Evaluación de la Sustentabilidad Ambiental en la Construcción y Administración de Edificios en México. *Dirección General de Investigación en Política y Economía Ambiental*, 1–86.
- Del Pino, J. (2003). Aproximación sociológica a la vivienda secundaria litoral. *Revista electrónica de geografía y ciencias sociales*, 7(146).
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (2006). Ley de Vivienda. Congreso General de los Estados Unidos Mexicanos. Recuperado a partir de <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1185430&orden=39084&info=link>
- Erias, A., y Álvarez-Campana, J. M. (2006). Relaciones entre la evaluación de impacto ambiental, la evaluación ambiental estratégica y el desarrollo sostenible: evolución, metodología y agentes participantes. *Comunicación al III Congreso de Ingeniería Civil*. Recuperado a partir de http://www.ciccp.es/biblio_digital/Icitema_III/congreso/pdf/020509.pdf

- Ford, L. R. (1999). Lynch revisited: New urbanism and theories of good city form. *Cities*, 16(4), 247–257.
- Hall, P. (1997). City of Towers. En *Cities of tomorrow* (pp. 204–240). Inglaterra: Blackwell.
- Higueras, E. (2011). Urbanismo bioclimático. *Cuadernos de Investigación Urbanística*, (24). Recuperado a partir de <http://polired.upm.es/index.php/ciur/article/view/238>
- Hinestrosa, L. A., Cubides, A., Corrales, C., y Hernández, N. (2012). Reuso y reciclaje de materiales como buena práctica sostenible en la edificación. Recuperado a partir de <http://www.enid.unal.edu.co/2012/memorias/fscommand/habitat/72.pdf>
- ILUARCO. (2017). *Cálculo de eficiencia en energía y agua para las edificaciones de tipo residencial: Análisis de ciclo de vida y emisiones*. Seminario, Mexicali, Febrero-Mayo de 2017.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2009). Sector de la construcción: Recuperado el 7 de marzo de 2017, a partir de <http://cuentame.inegi.org.mx/economia/parque/construccion.html#tema2>
- ITeC. (2006). Guía general de buenas prácticas ambientales para el jefe de obra. Servicio Editorial del ITeC. Recuperado a partir de www.itec.es/biodiversidad
- Jourda, F. (2012). Pequeño manual del proyecto sostenible. Barcelona: Gustavo Gili.
- LANL. (2002). LANL Sustainable Design Guide. Site and Project Planning.
- Le Corbusier. (1993). A contemporary city. En *Cities of to-morrow and its planning* (pp. 163–178). Inglaterra, Routhledge: DOVER.
- Leyva, O. (2012). Expansión urbana de la ciudad de Mexicali 1990-2005. En *Procesos urbanos en Baja California: Análisis, planeación y sustentabilidad* (Primera edición, pp. 57–84). México: Red Nacional de Investigación Urbana.
- Leyva, O., Barrera, H., & Vallejo-Arias, A. (2017). Propuesta de planeación urbana sustentable para proyectos habitacionales de tipo Multifamiliar. Zona Metropolitana de Mexicali. Facultad de Arquitectura y Diseño, UABC.
- Micheli, J. (2002). Política ambiental en México y su dimensión regional.
- Montoya, R. E. (2010). *Hacia una vivienda de interés social sostenible en la ciudad de México* (Maestría). Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona.
- Morillón, D. (2012). *Grupo de tecnologías para la sustentabilidad*. Edificación sustentable presentado en 2012 Año internacional de la energía sostenible para

- todos: 2da semana verde, México.
- Naik, T. R. (2005). Sustainability of cement and concrete industries. En *Proceedings of the International Conference on Achieving Sustainability in Construction* (pp. 141–150). Citeseer. Recuperado a partir de <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.473.3167&rep=rep1&type=pdf>
- Pradilla, E. (2013). La ciudad capitalista en el patrón neoliberal de acumulación en América Latina. En *Mesa 1- A abordagem teórico conceitual em torno da cidade latino-americana e a reestruturação neoliberal* (p. 34). Río de Janeiro: Red Latinoamericana de Investigadores sobre Teoría Urbana.
- Pradilla, E. (2015). De la ciudad compacta a la periferia dispersa. *Ciudades. Análisis de la coyuntura, teoría e historia urbana*, 106, 2–9.
- Quintero, C., y Tabares, A. (2015). *Metabolismo urbano en el flujo de materiales de construcción de vivienda de la ciudad de Pereira* (B.S. tesis). Universidad Tecnológica de Pereira. Recuperado a partir de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/handle/11059/5128>
- Ranfla, A. (2012). Construcción y estructuración urbana en Baja California durante el siglo XX: De los centros de la colonización a las redes urbanas del siglo XXI. En *Procesos urbanos en Baja California: Análisis, planeación y sustentabilidad* (Primera edición, pp. 21–56). México: Red Nacional de Investigación Urbana.
- Rojas C., R. I., Peña, C., Ranfla, A., Leyva, O., y Corona, A. (2015). Marco para la Integración de la Evaluación Ambiental Estratégica en la Planeación Territorial de Ciudades y Zonas Metropolitanas (pp. 1–24). Presentado en XXXVIII Encuentro Anual de la RNIU. Nuevas modalidades de Expansión de las Ciudades en México, Xalapa, Veracruz.
- Rugiero, A. (2000). Aspectos Teóricos de la Vivienda en relación al Habitar. *Revista INVI, Norteamérica*, 15(40), 67–97. <https://doi.org/10.4067/invi.v15i40.263>
- Sabella, A. (2005). El Análisis de Ciclo de Vida como herramienta de valoración proyectual. *Espacio de reflexión y comunicación en Desarrollo Sostenible. Ide@ Sostenible*, 2(10). Recuperado a partir de http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358047/Unidad_III/EL_ANALISIS_DE_C

- Sánchez, G. (1995). El urbanismo, la ciudad y su tratamiento jurídico. *Boletín mexicano de Derecho Comparado*, 82(Enero-Abril 1995), 307–324.
- Schepelmann, P. (2006). Life Cycle Assessment. Presentado en Sustainability A-Test project.
- Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU). (2013). Programas. Recuperado el 16 de septiembre de 2015, a partir de <http://www.sedatu.gob.mx/sraweb/programas/>
- Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL). (2010). Diagnóstico sobre la falta de certeza jurídica en hogares urbanos en condiciones de pobreza patrimonial en asentamientos irregulares. SEDESOL.
- Struble, L., y Godfrey, J. (2004). How sustainable is concrete. En *International workshop on sustainable development and concrete technology* (pp. 201–211). Recuperado a partir de <http://publications.iowa.gov/archive/00002941/01/SustainableConcreteWorkshop.pdf#page=212>
- Tukker, A. (2000). Life cycle assessment as a tool in environmental impact assessment. *Environmental impact assessment review*, 20(4), 435–456.
- Valenzuela, A. (2015). Mercados fallidos. *Ciudades. Análisis de la coyuntura, teoría e historia urbana*, 106, 20–29.
- Zabalza, I. B., Aranda, A. U., y Scarpellini, S. (2009). Life cycle assessment in buildings: State-of-the-art and simplified LCA methodology as a complement for building certification. *Building and Environment*, 44(12), 2510–2520. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.05.001>

ANEXOS

Anexo 1. A) Resultados en Met-R: NOM-020-ENER-2011 para el caso 2: VIS Testigo



Vivienda - Sustentabilidad - Energía

REGRESAR

1. DATOS GENERALES

Empresa o Desarrolladora	Usuario Uno
Dirección x	
Colonia x	
Ciudad/Estado Mexicali, Baja California	
Código Postal x	
Teléfono x	

Unidad de Verificación:	x
Dirección x	
Colonia x	
Ciudad/Estado x, x	
Código Postal x	
Teléfono x	
Número de verificación	x

Nombre del Proyecto Proyecto Base

Dirección x	Colonias x
Ciudad/Estado Mexicali, Baja California,	
Código Postal x	
Teléfono x	

Datos Técnicos del Proyecto

Caso	Eficiente - Fachada Principal al Oeste
Vivienda	Alisada
Niveles	1
No. Viviendas	1
Área por vivienda	38.46 m ²

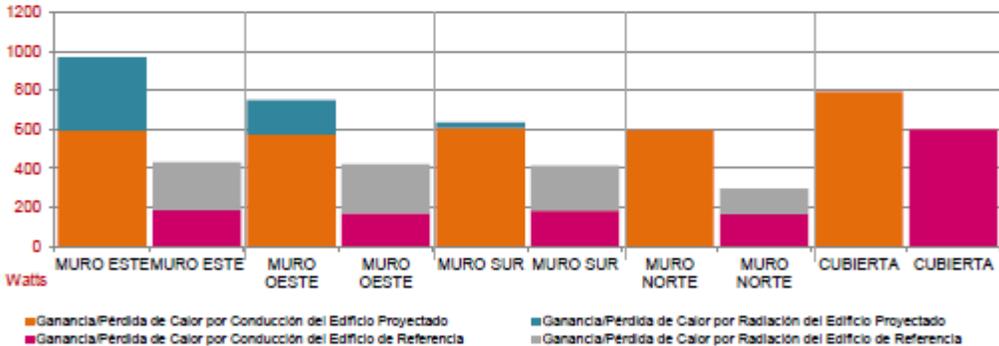
2. PRESUPUESTO ENERGÉTICO Y COSTO DE LA EVALUACIÓN

Cumplimiento:	No Cumple	Ganancia total de calor del edificio proyectado	3745.05 watts
Para cumplir la NOM 020 faltan:	1580 watts	Ganancia total de calor del edificio de referencia	2165.5 watts
Importe por Aislamiento:	\$0		

3. DETALLE DEL COSTO DE LA EVALUACIÓN

Superficie	Orientación	Área del Muro:	Área de vano	Importe por Aislamiento	Importe por Entintados
Fachada Principal	Este	11.03 m ²	4.34 m ²	Ninguno	Ninguno
Fachada Posterior	Oeste	14.31 m ²	1.06 m ²	Ninguno	Ninguno
Fachada lateral izquierda	Sur	17.32 m ²	0.25 m ²	Ninguno	Ninguno
Fachada lateral derecha	Norte	18.76 m ²	0 m ²	Ninguno	Ninguno
Cubierta	Ninguno	38.46 m ²	0	Ninguno	Ninguno
Veces Salario Mínimo		0		\$0.00	\$0.00

3. DETALLE DEL PRESUPUESTO ENERGÉTICO



■ Ganancia/Pérdida de Calor por Conducción del Edificio Proyectado
 ■ Ganancia/Pérdida de Calor por Radiación del Edificio Proyectado
■ Ganancia/Pérdida de Calor por Conducción del Edificio de Referencia
 ■ Ganancia/Pérdida de Calor por Radiación del Edificio de Referencia

Anexo 1: Especificaciones térmicas de los materiales que componen la envolvente del proyecto.

ANEXO 1: Especificaciones térmicas de la envolvente

Fachada Principal

Orientación: Este	Valor k (W/m ² °C): 2.8827	Ganancia de calor total: 969.92 watts
Áreas de la superficie	Capa	Material
	1	Aplanado Mortero de cal al exterior



Corte del muro

Todos los derechos reservados © 

Porcentaje de muro 72% Porcentaje de Ventana 28%	2	Bloque de concreto	EXTERIOR (1) 0.01 m (2) 0.12 m (3) 0.01 m INTERIOR
	3	Aplanado Yeso	

Fachada Posterior

 Orientación: Oeste Valor k ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$): 2.8827 Ganancia de calor total: 749.04 watts

Áreas de la superficie	Capa	Materiales	Corte del muro
Porcentaje de muro 93% Porcentaje de Ventana 7%	1	Aplanado Mortero de cal al exterior	EXTERIOR (1) 0.01 m (2) 0.12 m (3) 0.01 m INTERIOR
	2	Bloque de concreto	
	3	Aplanado Yeso	

Fachada Lateral Izquierda

 Orientación: Sur Valor k ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$): 2.8827 Ganancia de calor total: 635.3 watts

Áreas de la superficie	Capa	Materiales	Corte del muro
Porcentaje de muro 99% Porcentaje de Ventana 1%	1	Aplanado Mortero de cal al exterior	EXTERIOR (1) 0.01 m (2) 0.12 m (3) 0.01 m INTERIOR
	2	Bloque de concreto	
	3	Aplanado Yeso	

Fachada Lateral Derecha

 Orientación: Norte Valor k ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$): 2.8827 Ganancia de calor total: 594.97 watts

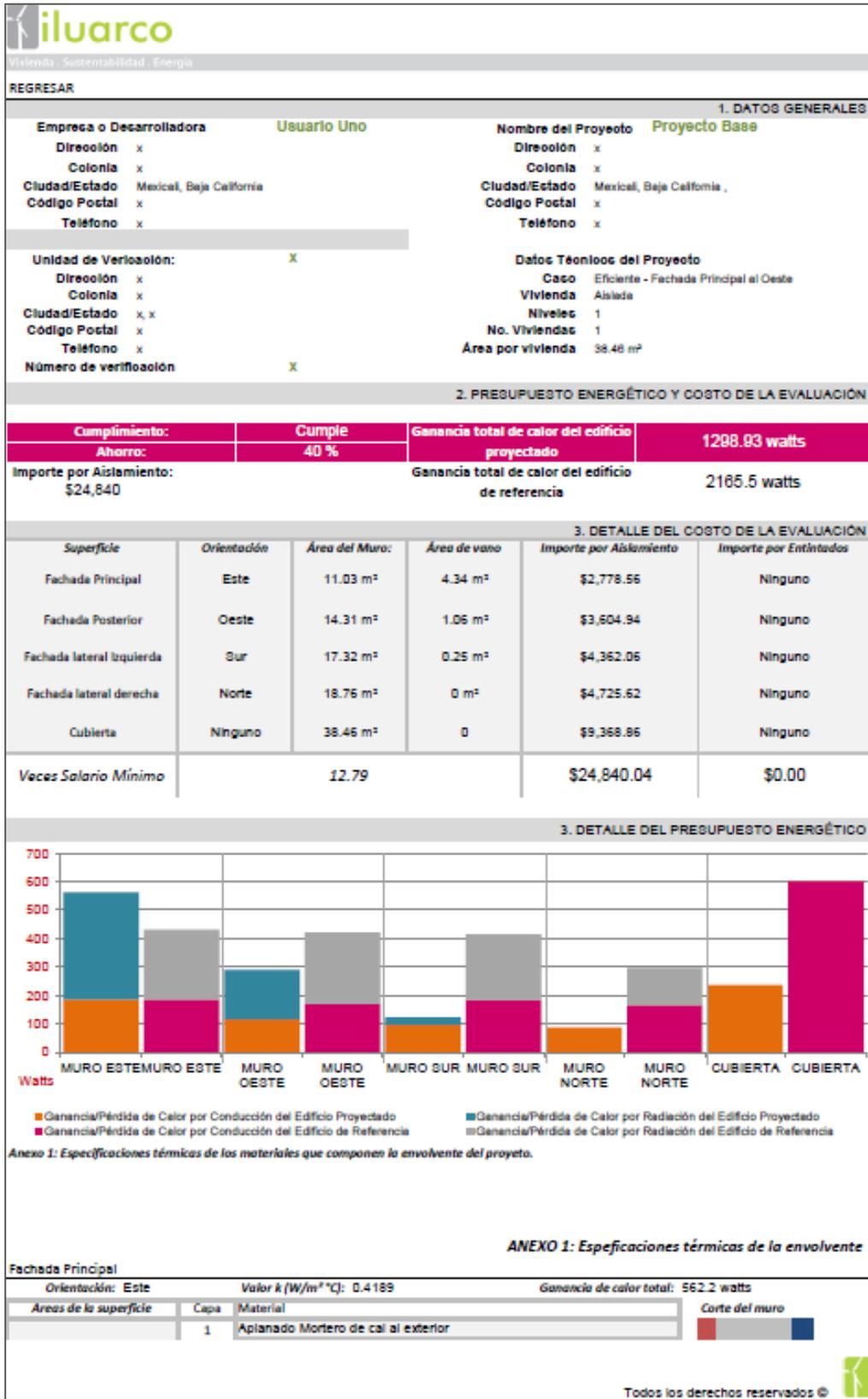
Áreas de la superficie	Capa	Materiales	Corte del muro
Porcentaje de muro 100% Porcentaje de Ventana 0%	1	Aplanado Mortero de cal al exterior	EXTERIOR (1) 0.01 m (2) 0.12 m (3) 0.01 m INTERIOR
	2	Bloque de concreto	
	3	Aplanado Yeso	

Cubierta

 Orientación: Ninguno Valor k ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$): 0.8277 Ganancia de calor total: 795.83 watts

Áreas de la superficie	Capa	Materiales	Corte de la cubierta
Porcentaje de cubierta 100% Porcentaje de Ventana 0%	1	Filtro de papel permeable	EXTERIOR (1) 0.003 m (2) 0.05 m (3) 0.1 m (4) 0.01 m INTERIOR
	2	Concreto armado	
	3	Concreto armado/Poliestireno (Baja Densidad)	
	4	Aplanado Yeso	

B) Resultados en Met-R: NOM-020-ENER-2011 para el caso 2: VIS Eficiente



Porcentaje de muro	2	Poliestireno (Alta Densidad)
72%	3	Bloque de concreto
Porcentaje de Ventana	4	Aplanado Yeso
28%		

EXTERIOR	(1) 0.01 m	INTERIOR
	(2) 0.05 m	
	(3) 0.12 m	
	(4) 0.01 m	

Fachada Posterior

 Orientación: Oeste Valor k ($W/m^2 \cdot ^\circ C$): 0.4189 Ganancia de calor total: 290.6 watts

Áreas de la superficie	Capa	Material
	1	Aplanado Mortero de cal al exterior
Porcentaje de muro	2	Poliestireno (Alta Densidad)
93%	3	Bloque de concreto
Porcentaje de Ventana	4	Aplanado Yeso
7%		

EXTERIOR	(1) 0.01 m	INTERIOR
	(2) 0.05 m	
	(3) 0.12 m	
	(4) 0.01 m	

Fachada Lateral Izquierda

 Orientación: Sur Valor k ($W/m^2 \cdot ^\circ C$): 0.4189 Ganancia de calor total: 123.24 watts

Áreas de la superficie	Capa	Material
	1	Aplanado Mortero de cal al exterior
Porcentaje de muro	2	Poliestireno (Alta Densidad)
99%	3	Bloque de concreto
Porcentaje de Ventana	4	Aplanado Yeso
1%		

EXTERIOR	(1) 0.01 m	INTERIOR
	(2) 0.05 m	
	(3) 0.12 m	
	(4) 0.01 m	

Fachada Lateral Derecha

 Orientación: Norte Valor k ($W/m^2 \cdot ^\circ C$): 0.4189 Ganancia de calor total: 86.46 watts

Áreas de la superficie	Capa	Material
	1	Aplanado Mortero de cal al exterior
Porcentaje de muro	2	Poliestireno (Alta Densidad)
100%	3	Bloque de concreto
Porcentaje de Ventana	4	Aplanado Yeso
0%		

EXTERIOR	(1) 0.01 m	INTERIOR
	(2) 0.05 m	
	(3) 0.12 m	
	(4) 0.01 m	

Cubierta

 Orientación: Ninguno Valor k ($W/m^2 \cdot ^\circ C$): 0.2459 Ganancia de calor total: 236.43 watts

Áreas de la superficie	Capa	Material
	1	Filtro de papel permeable
Porcentaje de cubierta	2	Poliuretano
100%	3	Concreto armado
Porcentaje de Ventana	4	Concreto armado/Poliestireno (Baja Densidad)
0%	5	Aplanado Yeso

EXTERIOR	(1) 0.001 m	INTERIOR
	(2) 0.05 m	
	(3) 0.05 m	
	(4) 0.1 m	
	(5) 0.01 m	



Anexo 2. Análisis de resultados de la NOM-020-ENER-2011 en escenarios diversos

Tabla 5. Análisis de escenarios diversos para el cumplimiento de la NOM-020-ENER-2011

Escenario ^{a)}	Material de construcción				Ecotecnología						NOM-020-ENER-2011			
					Aislante (Plg)						Fachada principal al: ESTE			
	Muro		Cubierta		Poliestireno				Poliuretano	g) Costo por metro ² (Pesos)				
	Block de concreto (12cms)	Concreto (12cms)	Vigueta y Bovedilla (10cms)	Losa de concreto (12cms)	FO ^{b)}	FE ^{c)}	FS ^{d)}	FN ^{e)}	Cu ^{f)}					
1	X	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-	3745.05
2	X	-	X	-	1	1	1	1	-	\$ 11,939.00	X	-	3	2097.71
3	X	-	X	-	1	1	1	-	1	\$ 17,661.00	X	-	8	722.30
4	X	-	X	-	1	1	1	1	1	\$ 21,308.00	X	-	29	1538.31
5	X	-	X	-	1.5	1.5	1.5	1.5	-	\$ 13,655.00	X	-	10	1945.55
6	X	-	X	-	1.5	1.5	1.5	-	1.5	\$ 18,853.00	X	-	14	1871.14
7	X	-	X	-	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	\$ 23,024.00	X	-	36	1386.15
8	X	-	X	-	2	2	2	2	-	\$ 15,471.00	X	-	14	1858.33
9	X	-	X	-	2	2	2	-	2	\$ 20,114.00	X	-	17	1807.43
10	X	-	X	-	2	2	2	2	2	\$ 24,840.00	X	-	40	1298.93
11	-	X	-	X	-	-	-	-	-	-	-	X	-	6097.23
12	-	X	-	X	2	2	2	2	2	\$ 24,840.00	X	-	31	1925.87

Notas: a) Los escenarios están dados para una vivienda de 38.46m², el escenario 1 y 10 representan las unidades de análisis, testigo y eficiente, respectivamente; b) FO: Fachada Oeste; c) FE: Fachada Este; d) FS Fachada Sur; e) FN: Fachada Norte; f) Cu: Cubierta; g) El costo por metro cuadrado del aislante es únicamente de referencia y está estimado de acuerdo a precios de mercado local; h) La norma establece para estas unidades de análisis y escenarios un máximo de 2165.5 watts.

Fuente: Elaboración propia, 2017

Anexo 3. Cálculo de ganancia de calor

Tabla 6. Cálculo de ganancia de calor

	Tipo	Presupuesto energético (Watts)			Refrigeración (Toneladas)	Consumo eléctrico (kWh)			CO2 (Toneladas)	
		Conducción	Radiación	Total		Día	Mensual	Tarifa de verano (Mayo a Octubre)	Por vivienda	Por 115 viviendas
1	Referencia	3169.1823	575.8714	3,745.05	2	16	480	2,880.00	1.68	193.20
2	BC1"EPS, VB	1521.8377	575.8714	2,097.71	1	11.2	336	2,016.00	1.18	135.70
3	BC1"EPS 3F, VBURE	146.4272	575.8714	722.30	1	11.2	336	2,016.00	1.18	135.70
4	BC1"EPS 4F, VBURE	962.437	575.8714	1,538.31	1	11.2	336	2,016.00	1.18	135.70
5	BC1.5"EPS, VB	1369.6773	575.8714	1,945.55	1	11.2	336	2,016.00	1.18	135.70
6	BC1.5"EPS 3F, VBURE	1295.27	575.8714	1,871.14	1	11.2	336	2,016.00	1.18	135.70
7	BC1.5"EPS 4F, VBURE	810.2766	575.8714	1,386.15	1	11.2	336	2,016.00	1.18	135.70
8	BC2"EPS, VB	1282.455	575.8714	1,858.33	1	11.2	336	2,016.00	1.18	135.70
9	BC2"EPS 3F, VBURE	1231.5627	575.8714	1,807.43	1	11.2	336	2,016.00	1.18	135.70
10	BC2"EPS 4F, VBURE	723.0543	575.8714	1,298.93	1	11.2	336	2,016.00	1.18	135.70
11	CC, LC-CB	5521.3548	575.8714	6097.23	2	22.4	672	4032.00	2.35	270.25
12	BC1"EPS, VB-TX(3v)	1520.186	405.6796	1925.87	1	11.2	336	2016.00	1.18	135.70

Notas: Los escenarios están dados para una vivienda aislada de 38.46m²; la norma establece para estas unidades de análisis y escenarios un máximo de 2165.5 watts. El escenario 1 y 10 representan las unidades de análisis, testigo y eficiente, respectivamente.

Fuente: Elaboración propia, 2017