



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL – CONSTRUCCIÓN

SUSTENTABILIDAD EN LA EDIFICACIÓN
ESTRATEGIAS PARA UNA CONSTRUCCIÓN SUSTENTABLE

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:
EDITH HUANOSTA TERA

DIRECTOR DE TESIS
ING. LUIS ARMANDO DÍAZ INFANTE DE LA MORA
FACULTAD DE INGENIERÍA

MÉXICO, D. F. FEBRERO 2014

JURADO ASIGNADO:

Presidente: **M.I: SALVADOR DÍAZ DÍAZ**

Secretario: **DR. JESÚS HUGO MEZA PUESTO**

Vocal: **ING. LUIS ARMANDO DÍAZ INFANTE DE LA MORA**

1 er. Suplente: **M.I. MARCO TULIO MENDOZA ROSAS**

2 d o. Suplente: **ING. JUAN LUIS COTTIER CAVIEDES**

Lugar donde se realizó la tesis: **UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO, MÉXICO, D. F.**

TUTOR DE TESIS:

LUIS ARMANDO DÍAZ INFANTE DE LA MORA

FIRMA

DEDICATORIA

A mi Madre por todo su esfuerzo, su dedicación, por haberme dado su apoyo incondicional siempre.

AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Luis Armando Díaz Infante de la Mora, por su guía invaluable, por su apoyo y paciencia, por haber confiado en mí y permitirme seguir creciendo profesionalmente.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, mi *alma máter* por haberme forjado en sus aulas.

Al M. Marco Tulio Mendoza por su insistencia, al Dr. Hugo Meza por sus consejos y comentarios a éste trabajo, al Ing. Juan Luis Cottier por transmitir sus conocimientos, al M. Salvador Díaz por su paciencia.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo a través de la beca durante mis estudios de Maestría.

A mis familiares por su amor y comprensión.

A Ernesto por sus consejos y amistad.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	6
1 MARCO CONCEPTUAL.....	9
1.1 Términos y conceptos.	9
2 MARCO LEGAL Y NORMATIVO.....	12
2.1 Leyes ambientales mexicanas	12
2.1.1 Ley General de Cambio Climático.....	13
2.1.2 Norma Ambiental NADF-007-RNAT-2004	15
2.1.3 Ley Ambiental del Distrito Federal	18
2.1.4 Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal.....	19
2.1.5 Reglamento de la Ley Ambiental del Distrito Federal	20
2.1.6 Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal.....	20
2.1.7 Reglamento de Impacto Ambiental y Riesgo	21
2.2 Leyes ambientales internacionales sobre residuos de la construcción y demolición	23
2.2.1 España	23
2.2.2 Alemania	24
2.2.3 Austria	25
2.2.4 Francia	26
2.2.5 Irlanda	26
2.2.6 Italia.....	26
2.2.7 Reino Unido.....	27
2.2.8 Datos cuantitativos de Producción y Gestión de RCD	27
3 RESIDUOS DE LA CONSTRUCCIÓN	29
3.1 Origen y composición de los residuos de la construcción.....	29
3.2 Reciclaje y tratamiento en planta	32

3.2.1	Consideraciones preliminares	32
3.3	Disposición final. Procesos y mejores prácticas.....	35
3.3.1	Plantas de reciclaje y tratamiento integral de residuos de la construcción	35
3.3.2	Mejores prácticas	40
3.3.3	Herramientas.....	45
4	HUELLA DE CARBONO EN LA CONSTRUCCIÓN.....	53
4.1	Introducción	53
4.1.1	Términos y definiciones.....	54
4.2	Análisis del Ciclo de Vida.....	58
4.2.1	Categorías de impacto ambiental.....	61
4.2.3	Beneficios.....	68
4.2.4	Limitaciones	68
4.3	Metodologías para la determinación de la huella de carbono.	74
4.3.1	PAS 2050 2008	74
4.3.1.1	Fuente de emisiones y análisis de unidades.....	75
4.4	Análisis de huella de carbono de un edificio con Athena EcoCalculator v3.6.....	81
4.4.3	Resultados.	82
4.4.4	Datos de entrada.....	82
4.4.5	Datos de salida.....	90
4.4.6	Interpretación	93
5	CONCLUSIONES.....	95
6	BIBLIOGRAFÍA.....	98

INTRODUCCIÓN

Descripción del problema

Es fundamental incorporar a las prácticas responsables en nuestra industria el manejo adecuado de los recursos, así como la gestión, control y reducción de los desechos y emisiones derivados de la misma.

Se busca contribuir sobre el manejo de residuos sólidos y emisiones derivados de la edificación con la experiencia y alternativas que han desarrollado otros países, y fomentar su implementación en nuestro país. Se espera que el presente trabajo sea de utilidad para productores de materiales de la construcción, responsables y encargados de obras de urbanización y de la vivienda; además sea una alternativa para los consumidores directos de material y para las autoridades que buscan fomentar la sustentabilidad en la construcción.

Justificación

La industria de la construcción de cualquier índole, pública o privada, para infraestructura y la vivienda tiene un gran impacto sobre el medio ambiente y en la capacidad para mantener una economía sustentable en vista al futuro no muy prometedor a nivel mundial. Sin duda no se puede reducir este impacto con las mismas formas actuales de diseñar, gestionar y construir; es esencial cambiar y elaborar compromisos para mejorar el desempeño en materia medio ambiental.

Para lograr reducir el impacto que la industria de la construcción ejerce sobre el ambiente, es necesario, integrar nuevas tecnologías, regular y gestionar la producción de residuos derivados de ésta actividad, llevar un seguimiento y control durante las diferentes fases de ésta actividad (construcción, vida útil, demolición y disposición final); reformar la normatividad medio ambiental en los proyectos y supervisar que ésta sea respetada.

La materia de la sustentabilidad en nuestro campo disciplinario no es una opción, se ha convertido ya en una obligación pues las futuras generaciones nos harán el reclamo por haber terminado con los recursos naturales disponibles cuando falle la capacidad de la tierra para mantener a la humanidad en sus sociedades tal como las conocemos ahora.

Los gobiernos no tienen la capacidad y a veces el deseo de realizar todos los cambios necesarios para evitar el debilitamiento del ambiente, siguen priorizando el crecimiento económico a costa de los recursos naturales, el eterno consumo de materiales y energía.

Es fundamental buscar alternativas, tenemos que hacer los cambios necesarios si no queremos dejar una tarea imposible de solucionar.

Planteamiento del problema

Determinar un proceso sustentable en la construcción de edificaciones e implementar directrices adecuadas durante dicho proceso.

¿Cómo reducir el impacto de los residuos provenientes de la construcción y demolición?

¿Para qué medir la huella de carbono de una edificación?

Objetivo general

Plantear una propuesta de implementación de medidas sustentables. Esta tesis se dirige hacia los procesos constructivos de edificios durante las fases de ejecución y disposición final.

Objetivos particulares

Recomendar prácticas para la regulación de la producción y gestión de residuos de construcción y demolición en México, que reduzcan el impacto que ésta actividad genera al medio ambiente.

Realizar un análisis de huella de carbono para entender, cuantificar y controlar las emisiones de gases de efecto invernadero durante la fase de construcción de una edificación.

Limitaciones.

Este estudio ha sido limitado por los siguientes aspectos:

- La falta de investigación sobre la metodología de evaluación de la huella de carbono en el desempeño ambiental,
- Datos indefinidos de los insumos totales de producción y requerimientos de energía para los materiales de construcción más importantes como el acero y el concreto.
- La imprecisión de las herramientas y programas de computadora para evaluar las alternativas de diseño sustentable.

Hipótesis.

La utilización de programas de gestión de residuos de la construcción en las obras reduciría considerablemente el volumen generado de residuos.

Es necesario que la normatividad, fomente la reutilización de agregados reciclados derivados de la demolición.

Por medio de diversas metodologías será posible obtener la información para buscar estrategias de mitigación, evaluación de diseño y de materiales antes de la construcción para tomar decisiones encaminadas a la disminución de la huella de carbono.

1 MARCO CONCEPTUAL

Se describen las definiciones, conceptos y líneas básicos de la ciencia ambiental.

1.1 Términos y conceptos.

Según la Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-007-RNAT-2004:

Aprovechamiento o valorización. Conjunto de acciones cuyo objetivo es mantener a los materiales que los constituyen en los ciclos económicos o comerciales, mediante su reutilización, re manufactura, rediseño, reprocesamiento y/o reciclado.

Disposición final. Es la acción de depositar o confinar permanentemente residuos sólidos en sitios o instalaciones cuyas características prevengan afectaciones a la salud de la población y a los ecosistemas y sus elementos.

Contaminación: la presencia en el ambiente de toda sustancia que en cualquiera de sus estados físicos y químicos al incorporarse o actuar en la atmósfera, agua, suelo, flora, fauna o cualquier elemento natural, altere o modifique su composición y condición natural, causando desequilibrio ecológico.

Control: Inspección, vigilancia y aplicación de las medidas necesarias para el cumplimiento de las disposiciones establecidas en este ordenamiento;

Desarrollo Sustentable: El proceso evaluable mediante criterios e indicadores de carácter ambiental, económico y social que tiende a mejorar la calidad de vida y la productividad de las personas, que se funda en medidas apropiadas de conservación del equilibrio ecológico, protección del ambiente y aprovechamiento de recursos naturales, de manera que no se comprometa la satisfacción de las necesidades de las generaciones futuras.¹

Disposición Final: Acción de depositar permanentemente los residuos en sitios y condiciones adecuadas para evitar daños a los ecosistemas y al ambiente.

¹ El término sustentable se usa en la normativa y literatura mexicana, el término sostenible es usado en documentos oficiales de la ONU. El concepto de Desarrollo Sostenible fue descrito en 1987 en el Informe de la Comisión de Brundtland (resultado de los trabajos de la Comisión Mundial de Medio Ambiente y Desarrollo de Naciones Unidas, creada en 1983) como un “desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente, sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades”. Existen cuatro dimensiones del Desarrollo Sostenible: la sociedad, el medio ambiente, la cultura y la economía, es un paradigma de un futuro en donde las consideraciones ambientales, sociales y económicas estén equilibradas en la búsqueda de una mejor calidad de vida.

Estudio de Riesgo: Documento mediante el cual se dan a conocer, con base en el análisis de las acciones proyectadas para el desarrollo de una obra o actividad, los riesgos que éstas representan para los ecosistemas, la salud o el ambiente, así como las medidas técnicas preventivas, correctivas y de seguridad, tendientes a mitigar, reducir o evitar los efectos adversos que se causen al ambiente, en caso de un posible accidente durante la realización u operación normal de la obra o actividad de que se trate.

Impacto ambiental: Modificación del ambiente, ocasionado por la acción del hombre o de la naturaleza.

Manejo. El conjunto de actividades que comprenden el almacenamiento, recolección, transporte, aprovechamiento, reuso, tratamiento, reciclaje y disposición final de los residuos de la construcción.

Manifestación de impacto ambiental: El documento mediante el cual se da a conocer, con base en estudios, el impacto ambiental, significativo y potencial que generaría una obra o actividad, así como la forma de evitarlo o atenuarlo en caso de que sea negativo.

Materiales reciclados. Aquellos materiales producto de los residuos de la construcción que han tenido un proceso, selección, molienda, cribado, almacenamiento, entre otros, y que por sus características pueden ser reincorporados como agregados en la construcción.

Materiales y residuos peligrosos: Las sustancias, compuestos o residuos y sus mezclas, que por sus características corrosivas, tóxicas, reactivas, explosivas, inflamables o biológicas infecciosas, representan un riesgo para el ambiente, de conformidad con las normas oficiales mexicanas aplicables.

Plan de Manejo. El instrumento de gestión integral de los residuos sólidos, que contiene el conjunto de acciones, procedimientos y medios dispuestos para facilitar el acopio y la devolución de productos de consumo que al desecharse se conviertan en residuos sólidos, cuyo objetivo es lograr la minimización de la generación de los residuos sólidos y la máxima valorización posible de materiales y subproductos contenidos en los mismos, bajo criterios de eficiencia ambiental, económica y social, así como para realizar un manejo adecuado de los residuos sólido que se generen.

Reciclaje: Método de tratamiento que consiste en la transformación de los residuos con fines productivos y de reutilización.

El reciclado y la valorización se definen como todo procedimiento que permita el aprovechamiento de los recursos contenidos en los residuos, incluida la incineración con recuperación de energía, sin poner en peligro la salud humana y sin utilizar métodos que puedan causar perjuicios en el medio ambiente.

Residuos de la construcción. Son los materiales, productos o subproductos generados durante de las actividades de excavación, demolición, ampliación, remodelación, modificación o construcción tanto pública como privada.

Residuos sólidos: Todos aquellos residuos en estado sólido que provengan de actividades domésticas o de establecimientos industriales, mercantiles y de servicios que no posean las características que los hagan peligrosos.

Residuos peligrosos. Todos aquellos residuos, en cualquier estado físico, que por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables o infecciosas, representen un peligro para el ambiente o la salud y los listados en la norma NOM-52-SEMARNAT-1993.

Suelo contaminado. Aquel suelo en el que se encuentran presentes uno o más materiales o residuos peligrosos y que pueden constituir un riesgo para el ambiente o la salud.

Suelo orgánico. Capa superior de la corteza terrestre compuesta por materiales orgánicos y minerales.

La Gestión Integral de Residuos busca:

- Transformar el manejo tradicional de los residuos que se acostumbra en muchos municipios que se limita a la recolección y disposición final, sin llevar una gestión integral de los residuos que debe involucrar:
 - o La recolección total de los residuos.
 - o La instalación de Estaciones de Transferencia que amplíen la cobertura regional del servicio de recolección.
 - o La construcción y operación de rellenos sanitarios regionales con recepción de residuos sólidos superior en sólidos a 400 toneladas por día.
- Modificar la estrategia de disposición final de los residuos centrada solamente en la creación de rellenos sanitarios municipales por:
 - o Rellenos regionales cuyo volumen de recepción permita un máximo aprovechamiento y beneficios por el biogás generado, y la cantidad de materiales valorizables contenidos en los residuos inorgánicos.
 - o Tecnologías complementarias, que permitan reducir el volumen de residuos enviados al relleno como la incineración, o el tratamiento valorizables de residuos orgánicos.
 - o Reciclaje bajo esquemas de responsabilidad compartida considerando toda la cadena de valor,² lo que además reduce la cantidad de residuos enviados al relleno.

² Sergio Gasca Álvarez, "Gestión Integral de Residuos", SEMARNAT, México, 2008.

2 MARCO LEGAL Y NORMATIVO

Se presentan los fundamentos legales enumerando los artículos más importantes de las normas ambientales nacionales e internacionales aplicables a la industria de la construcción.

2.1 *Leyes ambientales mexicanas*

El manejo adecuado de los residuos de la construcción y demolición (por sus siglas RCD) contempla la siguiente normatividad en el Distrito Federal, en el ámbito Federal y Local.

Leyes federales

- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos
- Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente
- Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos
- Ley General de Cambio Climático

Leyes y reglamentos del Distrito Federal

- Estatuto de Gobierno del Distrito Federal
- Ley Orgánica de la Procuraduría Ambiental y de Ordenamiento Territorial del Distrito Federal
- Ley Ambiental del Distrito Federal
- Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal
- Ley de Desarrollo Urbano del Distrito Federal
- Ley de Obras Públicas del Distrito Federal
- Ley de Aguas del Distrito Federal
- Reglamento de la Ley Orgánica de la Administración Pública del Distrito Federal
- Reglamento de la Ley Ambiental del Distrito Federal
- Reglamento de la Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal
- Reglamento de Construcciones del Distrito Federal
- Reglamento de la Ley Orgánica de la Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial del Distrito Federal
- Reglamento de Impacto Ambiental y Riesgo del Distrito Federal
- Reglamento Interior de la Administración Pública del Distrito Federal

Programas y otros instrumentos del Distrito Federal

- Programa General de Ordenamiento Ecológico y Territorial
- Programa de Gestión Integral de Residuos Sólidos del Distrito Federal
- Programas Delegacionales de Desarrollo Urbano
- Programas Parciales de Desarrollo Urbano
- Inventario de Residuos Sólidos del Distrito Federal

Códigos del Distrito Federal

- Código Penal para el Distrito Federal
- Código Fiscal del Distrito Federal

Normas

- NOM-083-SEMARNAT-2003, Norma oficial mexicana sobre especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos y de manejo especial (Federal).
- NADF-07-RNAT-2004, Norma ambiental del Distrito Federal, que establece la clasificación y especificaciones de manejo para residuos de la construcción en el Distrito Federal (Local).

2.1.1 Ley General de Cambio Climático

Artículo 13. Se crea el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) como un organismo público descentralizado de la administración pública federal.

Artículo 15. El INECC tiene las funciones serán las de: realizar estudios de investigación científica; brindar apoyo técnico y científico; promover y difundir metodologías y tecnologías; preparar a recursos humanos, elaborar estrategias, planes, programas, e instrumentos; evaluar el cumplimiento de esta Ley, emitir recomendaciones; proponer e impulsar la elaboración de normas, relacionados con el desarrollo sustentable, medio ambiente y el cambio climático.

Artículo 26. En la formulación de la política nacional de cambio climático se observarán los principios de:

VIII. Responsabilidad ambiental, quien realice obras o actividades que afecten o puedan afectar al medio ambiente, estará obligado a prevenir, minimizar, mitigar, reparar, restaurar y, en última instancia, a la compensación de los daños que cause;

Artículo 34. Para reducir las emisiones, las dependencias y entidades de la administración pública federal, las Entidades Federativas y los Municipios, en el ámbito de

su competencia, promoverán el diseño y la elaboración de políticas y acciones de mitigación asociadas a los sectores correspondientes a:

- I. Reducción de emisiones en la generación y uso de energía.
- II. Reducción de emisiones en el Sector Transporte.
- III. Reducción de emisiones y captura de carbono en el sector de agricultura, bosques y otros usos del suelo y preservación de los ecosistemas y la biodiversidad.
- IV. Reducción de emisiones en el sector residuos.
- V. Reducción de emisiones en el Sector de Procesos Industriales.
- VI. Educación y cambios de patrones de conducta, consumo y producción.

d) Desarrollar políticas e instrumentos para promover la mitigación de emisiones directas e indirectas relacionadas con la prestación de servicios públicos, planeación y construcción de viviendas, construcción y operación de edificios públicos y privados, comercios e industrias.

Artículo 87. La Secretaría, deberá integrar el Registro de emisiones generadas por las fuentes fijas y móviles de emisiones que se identifiquen como sujetas a reporte. Las disposiciones reglamentarias de la presente Ley identificarán las fuentes que deberán reportar en el Registro por sector, subsector y actividad, asimismo establecerán los siguientes elementos para la integración del Registro:

- I. Los gases o compuestos de efecto invernadero a reportar;
- II. Los umbrales a partir de los cuales los establecimientos sujetos a reporte deberán presentar el reporte de sus emisiones;
- III. Las metodologías para el cálculo de las emisiones;
- IV. El sistema de monitoreo, reporte y verificación para garantizar la integridad, consistencia, transparencia y precisión de los reportes, y
- V. La vinculación, en su caso, con otros registros federales o estatales de emisiones.

Artículo 102. En materia de mitigación al cambio climático la evaluación se realizará respecto de los objetivos siguientes:

II. Reducir las emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero, y mejorar los sumideros de gases de efecto invernadero mediante el fomento de patrones de producción y consumo sustentables en los sectores público, social y privado fundamentalmente en áreas como: la generación y consumo de energía, el transporte y la gestión integral de los residuos;

IV. La medición de la eficiencia energética, el desarrollo y uso de fuentes renovables de energía y la transferencia y desarrollo de tecnologías bajas en carbono, particularmente en bienes inmuebles de dependencias y entidades de la Administración Pública Federal centralizada y paraestatal, de las Entidades Federativas y de los Municipios;

IX. El establecimiento de metodologías que permitan medir, reportar y verificar las emisiones.

2.1.2 Norma Ambiental NADF-007-RNAT-2004

Establece la clasificación y especificaciones de manejo para residuos de la construcción en el Distrito Federal.

Clasificación de los residuos de la construcción

Los residuos de la construcción están constituidos por un conjunto de fragmentos o restos de materiales producto de demolición, desmantelamiento, excavación, cuya composición puede variar ampliamente dependiendo del tipo de proyecto, obra y etapa de construcción.

- A. Residuos potencialmente reciclables para la obtención de agregados y material de relleno
 - Prefabricados de mortero o concreto.
 - Concreto simple.
 - Concreto armado.
 - Cerámicos.
 - Concretos asfálticos.
 - Concreto asfáltico producto del fresado.
 - Productos de mampostería.
 - Tepetate
 - Prefabricados de arcilla recocida.
 - Bloques.
 - Mortero.
- B. Residuos de excavación
 - Suelo orgánico.
 - Suelo no contaminado y materiales arcillosos, granulares y pétreos naturales contenidos en ellos.
 - Otros materiales minerales no contaminados y no peligrosos contenidos en el suelo.
- C. Residuos sólidos
 - Cartón.
 - Madera.
 - Metales.
 - Papel.
 - Plástico.
 - Residuos de podas, tala y jardinería.
 - Paneles de yeso.
 - Vidrio.
 - Otros.

Especificaciones técnicas para el manejo de los residuos de la construcción.

Los generadores de residuos de la construcción de volúmenes mayores o iguales a 7 m³ y los prestadores de servicios además de cumplir con la presentación del plan de manejo de residuos y demás ordenamientos legales aplicables en la materia, deben observar las disposiciones indicadas en las siguientes fases del manejo:

- a) Separación en la fuente
- b) Almacenamiento
- c) Recolección y transporte
- d) Aprovechamiento
- e) Disposición final

Separación en la fuente de los residuos de la construcción.

En las áreas de generación de residuos de la construcción, estos se deben separar en la clasificación A, B y C establecida en la clasificación anterior.

En el caso de generar residuos peligrosos o suelo contaminado se debe realizar su manejo y tratamiento conforme a la legislación aplicable.

Almacenamiento de los residuos de la construcción.

El almacenamiento de residuos de construcción dentro del predio del proyecto únicamente debe ser temporal, se debe minimizar la dispersión de polvos y emisión de partículas con el uso de agua tratada en las áreas de mayor movimiento y debe retirarse los residuos en el plazo que establezcan las disposiciones jurídicas correspondientes.

Recolección y transporte de los residuos de la construcción.

La recolección y transporte de los residuos de la construcción debe realizarse conforme a lo dispuesto en la Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal, el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, Reglamento de Tránsito para el Distrito Federal y demás ordenamientos jurídicos aplicables además de cumplir con lo siguiente:

- a. Durante la recolección y transporte de los residuos de la construcción se debe respetar la separación de los residuos que realizó en la fuente el generador y evitar mezclarlos con otro tipo de residuos.
- b. El prestador del servicio del transporte debe circular en todo momento, con los aditamentos necesarios que garanticen la cobertura total de la carga para evitar la dispersión de polvos y partículas, así como la fuga o derrame de residuos líquidos durante su traslado a sitios de disposición autorizados.

Aprovechamiento de los residuos de la construcción.

Para el aprovechamiento de los residuos de la construcción clasificados en la sección anterior denle el inciso A, los generadores de la construcción requieren presentar evaluación de impacto ambiental, aviso de demolición o informe preventivo, enviar a reciclaje por lo menos un 30% de estos residuos durante el primer año de aplicación de la norma ambiental, incrementándose dicho porcentaje en un 15 % anual hasta llegar al 100 % como óptimo.

Para el aprovechamiento de los residuos de la construcción clasificados en el inciso B, los generadores de residuos de la construcción que requieren presentar evaluación de impacto ambiental, aviso de demolición o informe preventivo deben reutilizar directamente en el sitio de generación al menos el 10% de los residuos generados, a menos que el constructor demuestre mediante estudios y pruebas en laboratorios acreditados un porcentaje diferente que garantice las especificaciones técnicas del proyecto, así como del correspondiente estudio costo-beneficio; debiendo indicar en el plan de manejo de residuos la reutilización que se le dará a dichos residuos.

Para los residuos identificados como residuos sólidos en la sección C, el generador debe buscar su valorización preferentemente.

Los residuos de la construcción clasificados en las secciones A y B, pueden ser reutilizados por el generador en el sitio de generación o en otros sitios de aprovechamiento, debiendo indicarlo en el plan de manejo de residuos.

En las siguientes obras se debe al menos sustituir un 25% de los materiales vírgenes por materiales reciclados, siempre y cuando éstos materiales cumplan con las especificaciones técnicas del proyecto, el costo sea el más conveniente para el interesado o que demuestre mediante estudios y pruebas en un laboratorio acreditado un porcentaje diferente que garantice las especificaciones técnicas del proyecto, así como del correspondiente estudio costo-beneficio:

- Sub-base en caminos.
- Sub-base en estacionamientos.
- Carpetas asfálticas para vialidades secundarias.
- Construcción de terraplenes.
- Relleno sanitario.
- Construcción de andadores o ciclopistas.
- Construcción de lechos para tubería.
- Construcción de bases de guarniciones y banquetas.
- Rellenos y pedraplenes.
- Bases hidráulicas.

En caso de presentarse otros usos de los materiales reciclados producto del tratamiento de los residuos de la construcción, éstos deben sustentarse y demostrar su uso con el análisis o las pruebas correspondientes³.

Disposición final de los residuos de la construcción.

Aquellos residuos de la construcción clasificados en la sección A, B y C que no se envíen a reciclaje, reutilización, o sean valorizados, deben enviarse a sitios de disposición final autorizados.

En el caso de que se generen residuos peligrosos o se trate de suelo contaminado, se deben disponer o confinar conforme a la legislación aplicable.

Clasificación de generadores de residuos de la construcción

Se clasifican en las categorías con sus respectivos requerimientos:

Categoría	Requerimientos
Mayor o igual a 7 m ³	Presentación de plan de manejo de residuos de acuerdo a lo establecido por las disposiciones jurídicas aplicables.
Menor de 7 m ³	Recolección mediante contratación de un prestador de servicios (transportista) o la Delegación correspondiente. Sin presentación de plan de manejo de residuos.

2.1.3 Ley Ambiental del Distrito Federal

Artículo 22. V. Impulsarán el desarrollo y fortalecimiento de la cultura ambiental, a través de la realización de acciones conjuntas con la comunidad para la conservación y restauración del ambiente, el aprovechamiento racional de los recursos naturales y el correcto manejo de los residuos.

Artículo 36. La Secretaría, en el ámbito de su competencia emitirá normas ambientales las cuales tendrán por objeto establecer:

II. Los requisitos, condiciones o límites permisibles en la operación, recolección, transporte, almacenamiento, reciclaje, tratamiento, industrialización o disposición final de residuos sólidos e industriales no peligrosos.

Artículo 47. Para obtener autorización en materia de impacto ambiental, los interesados, previo al inicio de cualquier obra o actividad, deberán presentar ante la

³ En el Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto (IMCYC) se están realizando pruebas con agregados reciclados para su utilización en vivienda de interés social.

Secretaría, una manifestación de impacto ambiental, en la modalidad que corresponda en los términos del reglamento, pero en todo caso deberá contener, por lo menos:

II. Descripción de la obra o actividad proyectada, desde la etapa de selección del sitio para la ejecución de la obra en el desarrollo de la actividad; la superficie de terreno requerido; el programa de construcción, montaje de instalaciones y operación correspondiente; el tipo de actividad, volúmenes de producción previstos, e inversiones necesarias; la clase y cantidad de recursos naturales que habrán de aprovecharse, tanto en la etapa de construcción como en la operación de la obra o el desarrollo de la actividad; el programa para el manejo de residuos, tanto en la construcción y montaje como durante la operación o desarrollo de la actividad; y el programa para el abandono de las obras o el cese de las actividades.

Artículo 57. El informe preventivo deberá contener:

IV. Descripción de los materiales o productos que vayan a emplearse en la ejecución de la obra o actividad proyectada, y los que en su caso vayan a obtenerse como resultado de dicha obra o actividad, incluyendo emisiones a la atmósfera, descargas de aguas residuales, tipo de residuos y procedimientos para su disposición final.

Artículo 76. La Secretaría desarrollará un Sistema de Información Ambiental del Distrito Federal, en coordinación con el Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales, que tendrá por objeto registrar, organizar, actualizar y difundir la información ambiental del Distrito Federal.

En dicho Sistema, se integrarán, entre otros aspectos, información de los mecanismos y resultados obtenidos del monitoreo de la calidad del aire, del agua y del suelo; de las áreas naturales protegidas; del ordenamiento ecológico del territorio, así como la información relativa a emisiones atmosféricas, descargas de aguas residuales y residuos no peligrosos, y la correspondiente a los registros, programas y acciones que se realicen

2.1.4 Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal.

Artículo 31. Son residuos de manejo especial, siempre y cuando no estén considerados como peligrosos de conformidad con las disposiciones federales aplicables, y sean competencia del Distrito Federal, los siguientes:

V. Los residuos de la demolición, mantenimiento y construcción civil en general;

Artículo 32. Los residuos de manejo especial estarán sujetos a planes de manejo conforme a las disposiciones que establezca esta Ley, su reglamento y los ordenamientos jurídicos de carácter local y federal que al efecto se expidan para su manejo, tratamiento y disposición final.

Los generadores de residuos de manejo especial deberán instrumentar planes de manejo, mismos que deberán ser autorizados por la Secretaría.

2.1.5 Reglamento de la Ley Ambiental del Distrito Federal

Artículo 53. En el Distrito Federal queda prohibido, en los términos de la Ley, este Reglamento, las normas oficiales y las demás disposiciones legales y reglamentarias aplicables:

V.- Descargar o arrojar al sistema de drenaje y alcantarillado y demás cuerpos receptores del Distrito Federal, materiales o residuos que contaminen y obstruyan el flujo de dichos cuerpos receptores.

Artículo 66. La recolección y transporte de residuos, así como la construcción, equipamiento y operación de las estaciones para su transferencia, de las plantas para su tratamiento y de los sitios e instalaciones para su disposición final, deberán llevarse a cabo con los métodos, frecuencia, condiciones y equipo necesarios para evitar o minimizar la contaminación ambiental y prevenir la mezcla entre residuos de distintas categorías de manejo, en los términos de las normas oficiales y demás disposiciones jurídicas aplicables.

2.1.6 Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal

Artículo 84. Las edificaciones deben contar con espacios y facilidades para el almacenamiento, separación y recolección de los residuos sólidos, según lo dispuesto en las Normas y/o Normas Oficiales Mexicanas.

Artículo 188. Los materiales de construcción, escombros u otros residuos con excepción de los peligrosos, generados en las obras, podrán colocarse en las banquetas de vía pública por no más de 24 horas, sin invadir la superficie de rodamiento y sin impedir el paso de peatones y de personas con discapacidad, previo permiso otorgado por la delegación, durante los horarios y bajo las condiciones que fije en cada caso.

2.1.7 Reglamento de Impacto Ambiental y Riesgo

Artículo 18. La realización de conjuntos habitacionales que no se ubiquen en ninguno de los supuestos del apartado J del artículo 6° de éste Reglamento, no requerirán obtener autorización en materia de impacto ambiental, pero deberá sujetarse invariablemente al cumplimiento de las siguientes disposiciones de protección ambiental:

IV En materia de residuos:

d) La disposición final de los residuos de demolición o de construcción que no sean reciclables, deberá realizarse en depósitos debidamente autorizados, debiendo conservar en el sitio de la obra, el Plan de Manejo de Residuos Sólidos que establece la normatividad en la materia, así como los comprobantes de ingreso de los camiones transportistas, que acrediten la cantidad de material recibida y la fecha de recepción.

El manejo, transporte y aprovechamiento de estos residuos se realizará de acuerdo con las disposiciones que establecen la legislación y reglamentación correspondiente para el Distrito Federal.

e) Si se generasen residuos catalogados como peligrosos por la normatividad federal, éstos deben manejarse, almacenarse temporalmente y disponerse conforme a lo dispuesto por la legislación federal en la materia.

V En materia de aire:

b) Los vehículos que se utilicen para el transporte de materiales y residuos hacia o desde el predio del proyecto, deben circular siempre con la caja o sección destinada a la carga cerrada o cubierta con lona, aun cuando circulen vacíos.

c) Cualquier movimiento de tierra y el retiro de materiales de demolición o residuos de la construcción del predio, se deberá realizar en húmedo, utilizando para ello agua cruda o tratada. De la misma manera se procederá con los materiales de construcción, cuando sea técnicamente posible debido a la naturaleza o uso del material.

Artículo 31. Las demoliciones de inmuebles en suelo urbano, que se realicen por medios mecánicos, que no involucren instalaciones industriales, talleres de la industria metal mecánica o estaciones de abastecimiento de combustibles, y no rebasen los diez mil metros cuadrados de superficie de construcción, no requerirán obtener la autorización de impacto ambiental, pero su realización deberá sujetarse al cumplimiento de las siguientes disposiciones:

h) Los camiones transportistas que trasladen los residuos de la demolición al sitio de destino final, deben circular en los horarios permitidos por la autoridad competente y por rutas debidamente programadas y controladas, procurando que sean las más convenientes a fin de evitar conflictos viales.

i) Los vehículos que se empleen para el traslado de los residuos hacia el sitio de disposición final deben circular siempre cubiertos con lonas, incluso vacíos, para evitar las fugas de material y la emisión de polvo.

k) Los materiales susceptibles de ser reciclados, como fierro estructural, tubular, cancelería y vidrio, concreto armado, concreto limpio, tabiques, ladrillos, adcretos, materiales cerámicos, mortero, bloques, mampostería, materiales arcillosos o tepetatosos, y fresado de carpeta asfáltica, entre otros, deben ser puestos a disposición de empresas autorizadas en el manejo y reciclaje de estos residuos.

Artículo 42. La manifestación de impacto ambiental con estudio de riesgo deberá contener la siguiente información:

IV. Descripción de la actividad; de las líneas de producción y proceso, manejo y volúmenes de materia primas, productos y subproductos considerados en el listado de actividades riesgosas, características de los recipientes, reactores y demás equipos de operación y de proceso, equipos auxiliares, instrumentos de control; condiciones de operación, incluidas las extremas, y volúmenes de producción.

VI. Descripción de los residuos generados, incluyendo, en su caso, tecnologías y sistemas de manejo y descripción de emisiones atmosféricas;

Artículo 82. El informe preventivo deberá contener:

VII. Descripción de los materiales o productos que vayan a emplearse en la ejecución de la obra o actividad proyectada y, en su caso, los que vayan a obtener como resultado de dicha obra o actividad, incluyendo emisiones a la atmósfera, descarga de aguas residuales, tipos de residuos y procedimientos para su disposición final.

2.2 Leyes ambientales internacionales sobre residuos de la construcción y demolición

En éste apartado se enumeran algunas de las políticas seguidas por algunos países como guía en cuanto a nuestra normatividad, se concluye con una tabla comparativa que incorpora un número mayor de países.

2.2.1 España

El Real Decreto 105/2008, por el que se regula la producción y gestión de residuos de construcción y demolición (por sus siglas RCD). Se ha planteado modificar la filosofía de gestión que se ha estado aplicando hasta el momento actual de sólo pagar por el servicio de retirada de los residuos a una empresa gestora externa. Se exige a las empresas la prevención en su generación de residuos y el fomento de la reutilización y reciclado, a través de las infraestructuras necesarias para su valorización, junto con el desarrollo y potenciación del mercado de los subproductos obtenidos.

Uno de los apoyos en que se basa dicha normativa es en la obligación del constructor, o productor de residuos, de incluir en los proyectos de ejecución de las obras un Estudio de Gestión de RCD, cuyo contenido mínimo será:

1. Una estimación de la cantidad, expresada en metros cúbicos y toneladas, de RCD que se generarán en las obras.
2. Las medidas para la prevención de residuos en la obra objeto del proyecto.
3. Las operaciones de reutilización, valorización o eliminación a que se destinarán los residuos que se generarán en las obras.
4. Las medidas para la separación de los residuos en obra.
5. Los planos de las instalaciones previstas para el almacenamiento, manejo, separación y, en su caso, otras operaciones de gestión de RCD dentro de la obra.
6. El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares del proyecto, en relación con el almacenamiento, manejo, separación, y en su caso, otras operaciones de gestión de los RCD dentro de la obra.
7. Una valoración del costo previsto de la gestión de los RCD que formara parte del presupuesto del proyecto en capítulo independiente. Posteriormente, el constructor o poseedor de los residuos estará obligado a presentar a la propiedad un Plan de Gestión de RCD que refleje como desarrollará las obligaciones que le incumban en relación con los residuos producidos en la obra. Dentro de las obligaciones en relación con los residuos producidos en la obra destaca la obligatoriedad de separar los residuos en origen en las fracciones definidas por el Real Decreto, fomentándose así la posterior valorización de los mismos.

De igual forma en la normativa de las distintas Comunidades Autónomas, se incluye la posibilidad de establecer fianzas o garantías financieras equivalentes para el

cumplimiento de los requisitos establecidos en la licencia de obra y el Estudio de Gestión de RCD, estableciéndose como obligatoria la separación de diferentes fracciones de residuos en función de las cantidades estimadas para cada una de ellas.

La base de este Real Decreto y de toda buena gestión, es una planificación adecuada partiendo de datos suficientes y confiables, algo que actualmente en materia de RCD es difícil de llevar a cabo al no existir base de conocimientos suficientes para realizar estimaciones que se aproximen con el adecuado grado de detalle a la realidad.

En la actualidad en número de instalaciones de gestión adecuadas es limitado, ya que como se mencionó anteriormente, la consideración de los residuos de la construcción como inertes ha llevado a desatender su regulación y control. Por tanto, el nuevo desarrollo normativo no implica únicamente a los productores de los residuos; también a los encargados de reciclar, que deberán adaptar sus instalaciones y procesos de tratamiento para dar respuesta a las disposiciones reglamentarias, mejorando el tratamiento ambiental de los residuos y fomentando la valorización de los mismos.

2.2.2 Alemania

La Ley de Residuos, en vigor desde 1996, establece en su artículo 5.4 la obligación de reciclar los residuos siempre que sea técnicamente posible y económicamente razonable. En este sentido, el reciclaje de residuos es considerado económicamente factible, si el costo no es desproporcionado respecto a los que puede ocasionar el vertido.

El destino de los RCD tanto el reciclaje como el depósito en vertedero ha de ser documentado, existiendo diferentes sistemas de notificación para residuos peligrosos y no peligrosos. Esta normativa ha sido modificada, con el objeto de modernizarla y optimizarla por un Reglamento presentado al Parlamento Federal en marzo de 2002.

Han existido otras medidas legislativas, como:

- La implementación, a partir del 1 de enero de 2002, del Listado Europeo de Residuos.
- El Reglamento de Residuos Industriales, según el cual las empresas están obligadas a separar los residuos reciclables de los residuos a eliminar. El cumplimiento de la obligación de utilización está garantizada por la definición de cuotas mínimas de utilización para los centros de clasificación y tratamiento. Con el objetivo de, llegar a un elevado nivel de valorización energética y de reciclaje de los materiales. Y por otro lado, terminar con la eliminación en vertederos económicos y poco seguros, lo que promueve a que no se utilicen plenamente los complejos centros municipales de eliminación de los residuos, perjudicando a la vez la seguridad de la planificación de los municipios.

- El Proyecto de reglamento de madera usada, define exigencias específicas a cumplir por las actividades de reciclaje, valorización energética, y eliminación en vertedero de la madera usada.
- Reglamento de vertederos, que regula los residuos inertes, los residuos que requieren vigilancia especial, los depósitos subterráneos y los almacenes de residuos a largo plazo.

Existen acuerdos voluntarios tanto a nivel nacional como regional. Como ejemplo de estos últimos, podemos citar el celebrado entre las autoridades ambientales de Berlín y Brandemburgo y las respectivas organizaciones industriales y de recicladores, mediante el que se pretende alcanzar los siguientes objetivos:

- Asegurar la reutilización o el reciclaje de RCD, ya que el depósito sólo está permitido para las fracciones no reciclables.
- Conseguir la adecuada separación de materiales peligrosos.
- Separación in situ de las distintas fracciones de los RCD o, de no ser posible, en plantas adecuadas de separación y/o tratamiento.
- Conseguir o asegurar la transparencia de los flujos de RCD, desde el origen hasta la utilización posterior al reciclaje o el depósito.
- Establecer estándares de calidad comparables para el reciclaje y depósito de RCD, particularmente a través de la implementación de requisitos técnicos para el reciclaje de residuos minerales.

2.2.3 Austria

La regulación austriaca sobre separación, recuperación y reciclaje data de 1993. Todos los materiales recuperables han de ser reciclados, aunque hay que tener en cuenta las circunstancias económicas. Además, aquellos materiales que no sean recuperables han de ser tratados antes del vertido.

El Plan Nacional de Gestión de Residuos de 1999 establece los siguientes requisitos generales para los vertederos:

- Condiciones geológicas e hidrogeológicas de localización;
- Diseño;
- Protección del agua y el suelo, mediante revestimientos y control de las aguas;
- Control de emisiones;
- Control de la estabilidad del vertedero;
- Documentación y controles de calidad.

Finalmente, el Plan Nacional diferencia entre los distintos tipos de vertedero en orden a establecer valores admisibles y procedimientos de análisis y gestión.

Por otro lado, también se destaca la directriz para materiales reciclados de construcción, de diciembre 1999, cuyo campo de aplicación es la reutilización de los

materiales residuales de la construcción. Esta directriz regula las exigencias y propiedades, de los productos obtenidos de los materiales residuales, y determina sus métodos y el alcance de los ensayos de calidad. Está estructurada para materiales reciclados, que se usan como áridos de nivelación, de relleno, para sub bases en carreteras, ligadas y no ligadas y como grava complementaria en concretos y capas de asfalto.

2.2.4 Francia

En Francia, el reciclaje de RCD está situado todavía en una fase básica, por lo que no se aprecian medidas de tipo normativo.

En este sentido, están prohibidos el vertido incontrolado y la incineración sin recuperación de energía, pero no existen restricciones específicas al depósito de RCD.

Además, existe un impuesto sobre el vertido de residuos, que se fija de manera local, en relación al volumen y procedencia (Industrial, residencial o comercial).

Tampoco existen acuerdos que pudiesen estimular y promocionar el desarrollo de estas políticas.

2.2.5 Irlanda

El Gobierno de Irlanda ha establecido un objetivo de reciclaje del 60% con el sector de la construcción. En este caso, el concepto de reciclaje comprende, además del tratamiento de RCD, el compostaje y el tratamiento biológico.

Integra otros instrumentos, aunque no todos dedicados en exclusiva a la gestión de los RCD:

- Alternativa a los sistemas de recogida.
- Programa piloto de producción limpia.
- Plan de desarrollo de producto ambientalmente mejores.
- Plan de desarrollo de métodos alternativos de tratamiento.
- Fondo de ambiental Environmental Partnership Fund.
- Programa de prevención de residuos peligrosos.
- Acuerdos sector/Administración Pública.
- Tasas de vertido.

2.2.6 Italia

La regulación de los vertederos en Italia viene configurada más por objetivos, que por una regulación real de flujos específicos de residuos. Aunque sí se puede citar un impuesto sobre el vertido de residuos, relacionado con el peso y el tipo de residuos y legislación sobre responsabilidad del productor de residuos.

La mayor parte de los RCD son vertidos de forma incontrolada o se realizan muy ligeros tratamientos, casi siempre como residuos inertes.

El uso de los materiales procedentes del reciclado de RCD choca con la gran disponibilidad de materiales residuales de canteras de mármol.

Tampoco existe ningún tipo de acuerdo sobre la materia por parte o dentro del sector.

2.2.7 Reino Unido

Las determinaciones más importantes establecidas en el Reino Unido en relación con los RCD son:

- Impuesto sobre el vertido, del cual está exento el uso de RCD para el relleno o regeneración de terreno en el lugar de origen. Como requisito se exige el registro previo de la localización.
- Controles sobre la eliminación de los componentes peligrosos de los RCD.
- Legislación sobre la responsabilidad del productor.

2.2.8 Datos cuantitativos de Producción y Gestión de RCD

Finalmente, como datos cuantitativos sobre la producción y gestión de los RCD en los distintos Estados miembros de la Unión europea, que reflejan fielmente la profundidad y amplitud del tratamiento y uso de diferentes instrumentos de gestión de los RCD, podemos destacar los siguientes:

Porcentajes de reciclaje de RCD en la Unión Europea			
País	Residuos (Millones de toneladas anuales)	%Re-utilizados / Reciclados	%Incinerados / Vertederos
Alemania	59	17	83
Inglaterra	30	45	55
Francia	24	15	85
Italia	20	9	91
España	13	<5	>95
Suecia	2	21	79
Irlanda	1	<5	>95
México ⁴	5	S/I	S/I ⁵

Tabla 1. Comparación de porcentajes de reciclaje de RCD en la Unión Europea.

Fuente: Construction and demolition waste management practices, and their economic impacts Report by Symonds, in association with ARGUS, COWI and PRC Bouwcentrum. 1999, pp. 3.

Conclusión: Cambiar las prácticas comunes de los constructores en nuestro país es un difícil paso para acatar la norma ambiental que solicita al constructor ir reduciendo los residuos poco a poco hasta llegar a un mínimo, cómo se observa en las normativas de España la obligatoriedad de la gestión de los residuos, de Alemania la de reciclar hasta donde económicamente sea posible así como separar los residuos reciclables de los residuos a eliminar; y del Reino Unido el impuesto sobre el vertido.

En cuanto a las emisiones de gases de efecto invernadero se empiezan a crear los instrumentos normativos como la Ley General de Cambio Climático para fomentar modelos de producción y consumo sustentables en los sectores industriales y la gestión integral de los residuos.

⁴ Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos 2009-2012, SEMARNAT.

⁵ S/I. Sin información disponible.

3 RESIDUOS DE LA CONSTRUCCIÓN

Se describen la caracterización de los residuos, el proceso de reciclaje, herramientas para la gestión y manejo así como mejores prácticas para disminuir los Residuos de la Construcción y Demolición (RCD).

3.1 Origen y composición de los residuos de la construcción.

El término de Residuos de la construcción y demolición abarca las siguientes categorías:

- Residuos **de demoliciones** parciales o totales de edificaciones y/o infraestructura.
- **Residuos de la construcción** de edificaciones y/o infraestructura.
- Tierra, rocas y vegetación generada en excavaciones, limpieza de terrenos y **cimentaciones** en general.
- Residuos de caminos de acceso asociados al mantenimiento de la construcción y principalmente de pavimentos de obras urbanas.

Existen algunos factores que influyen en la composición y volumen de éstos:

- **Actividad:** construcción, demolición, reparación.
- **Tipo:** edificación, infraestructura.
- **Edad** de edificación o infraestructura.
- **Volumen** de actividad en el sector de la construcción.
- **Políticas** y normatividad vigentes

La cuantificación en la generación de residuos es un tema que presenta diversos problemas debido a la falta de seguimiento detallado por parte de las dependencias competentes, a la falta de normativa en todas las entidades federativas, a la clandestinidad con que se disponen los residuos en zonas protegidas, de barrancas, o sitios sin control.

Se presenta la tabla siguiente con datos de diferentes fuentes con el fin de tener un estimado de residuos generados por día.

Fuente	Estimado	Aplicación	Año
Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos 2009-2012, SEMARNAT ⁶ .	13,130 ton/día Producción media	Nacional	2008
Minimización y manejo de Residuos de la Industria de la Construcción, Diagnóstico, 2002, SMA ⁷ .	5225 ton/día	Ciudad México D.F.	1995
Diagnóstico Básico de Residuos de la Construcción del Estado de México, SMAGEM ⁸ .	7457 ton/día	Estado México	2005
	5059 ton/día		2006

Tabla 2. Estimado de RCD, fuentes gubernamentales.

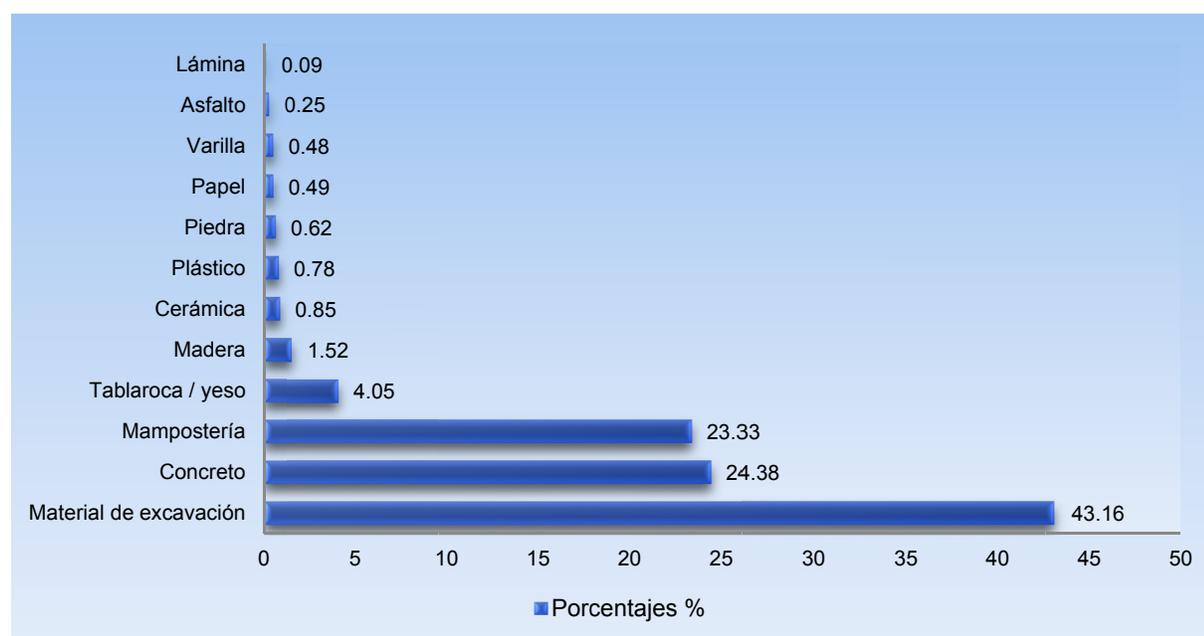


Figura 1. Composición física de los materiales que componen los RCD.

Fuente: Secretaría de Medio Ambiente, Minimización y manejo de Residuos de la Industria de la Construcción, "Diagnóstico 2002", México, 2002, pp. 12.

⁶ Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

⁷ Secretaría de Medio Ambiente.

⁸ Secretaría de Medio Ambiente del Estado de México.

Tipo de construcción	Residuos por m ² construido España ⁹	Residuos por m ² construido México
Obras de edificios nuevos	120.0 kg/ m ² construido	200 kg/ m ² construido ¹⁰
Obras de rehabilitación	338.7 kg/ m ² rehabilitado	S/I ¹¹
Obras de demolición total	1,129.0 kg/ m ² demolido	S/I
Obras de demolición parcial	903.2 kg/ m ² demolido	S/I

Tabla 3. *Residuos estimados por metro cuadrado y por volumen de obra.*

Una de las empresas en México que recicla los RCD *Concretos Recicladados S.A. de C.V.* indica que los materiales aptos para el reciclaje son¹²:

- Adocreto, arcillas, bloques, tabiques, cerámicos, concreto armado, concreto simple, mamposterías, ladrillos y fresado de carpeta asfáltica.

Éstos materiales deben estar libres de:

- Basura, orgánicos, aceites, grasas, asbestos, baterías, llantas usadas, papel, plásticos, químicos, tanques de gas, textiles, vidrio, tablaroca o yeso.

Existen diferentes posibilidades de usos que pueden tener los RCD después de haber sido clasificados:

- Re- utilizados. En éste caso el contratista tiene la intención de volver a utilizar algunos elementos sin cualquier forma de tratamiento, desmantelando y almacenando el producto para éste fin como: paneles, madera, puertas, plafones, ventanas, y ciertos tipos de acabados
- Recicladados. Se refiere a clasificar los productos de desecho y darles un tratamiento especial ya sea químico o físico para un uso diferente al original, en este caso es necesario darle una valoración al producto después de su tratamiento.
- Incinerados. Aplica a muy pocos desechos de la industria de la construcción, está regulada por la NOM-098-SEMARNAT-2002. Ésta actividad genera CO₂ por lo que

⁹ *Propuesta Metodológica para la obtención de un Índice de Aprovechamiento de Residuos en Obras de Rehabilitación en Andalucía, Ponencia SB10mad, Sustainable Building Conference, Madrid, 2010.*

¹⁰ *Diagnóstico Básico de Residuos de la Construcción del Estado de México, Secretaria del Medio Ambiente, 2007.*

¹¹ S/I. Sin información disponible.

¹² <http://www.concretosrecicladados.com.mx/es/materiales.php>

su uso debería estar limitado por ser un procedimiento costoso y peligroso para el ambiente.

- Confinados. Se refiere a los rellenos sanitarios que son sitios o instalaciones cuyas características deben proteger de afectaciones a la salud de la población, a los ecosistemas y sus elementos.

3.2 Reciclaje y tratamiento en planta

3.2.1 Consideraciones preliminares

Como se comentó anteriormente la mejor opción de disposición final es el reciclado de los RCD, evitando su vertido en rellenos sanitarios, reduciendo el impacto ambiental en vertederos incontrolados y evitando la explotación innecesaria de recursos naturales.

Como indica la NADF-007-RNAT-2004 los constructores deben reutilizar directamente en el sitio de generación al menos el 10% del volumen de residuos, y enviar a reciclaje un 30% durante el primer año, incrementando un 15 % anual hasta llegar al 100 %.

Es indispensable una red de plantas de reciclaje que permita lograr el incremento indicado de reciclaje en la Norma. En México la empresa *Concretos Reciclados* es pionera en éste campo desde 2005, sin embargo sólo algunas delegaciones del Distrito Federal envían los desechos a la planta, la gran mayoría realiza licitaciones para trasladar toneladas de residuos a vertederos ubicados fuera de la ciudad principalmente en el Estado de México.

Uno de los primeros pasos para el aprovechamiento y reciclaje de los RCD es la separación y limpieza de los materiales, ya que algunos de estos desechos pueden ser un riesgo de contaminación tóxica o ser inflamables (aislantes basados en asbestos, pintura, plástico) que aunque siendo una porción pequeña deben mantenerse separados del resto de los materiales inertes susceptibles a reciclarse.

Es necesario concientizar al contratista en el aspecto de la demolición selectiva lo que equivale a una separación cuidadosa de materiales, esta es una actividad muy deseable que debiera ser regulada y alentada por las autoridades introduciendo políticas que incentiven el reciclaje y su valorización.

El Comité Europeo de Medio Ambiente presenta una lista detallada de algunos materiales potencialmente contaminantes que se pueden encontrar como resultado en las actividades de construcción y demolición.

Tipos de RDC	Ejemplos
Materiales que originalmente contuvieron alguna proporción de elementos contaminantes.	Asbesto, alquitrán, pintura, adhesivos, impermeabilizantes y ciertos plásticos.
Algunos materiales que se contaminaron por el contacto directo o por encontrarse mucho tiempo en un ambiente contaminado.	Superficies de edificaciones industriales que entraron en contacto con un medio ambiente contaminado asociado a los procesos químicos de la fábrica, requiriendo especial manipulación y tratamiento.
Materiales inertes que se mezclan con elementos contaminantes.	Pintura, algunos recubrimientos, combustibles, yeso.

Tabla 4. Materiales contaminantes en los RCD.

Fuente: Report to DGXI, European Commission CONSTRUCTION AND DEMOLITION WASTE MANAGEMENT PRACTICES , AND THEIR ECONOMIC IMPACTS Final Report February 1999 Report by Symonds , in association with ARGUS , COWI and PRC Bouwcentrum, pág. 15

Se pueden listar algunos de los elementos que se pueden encontrar fácilmente en la actividad de construcción:

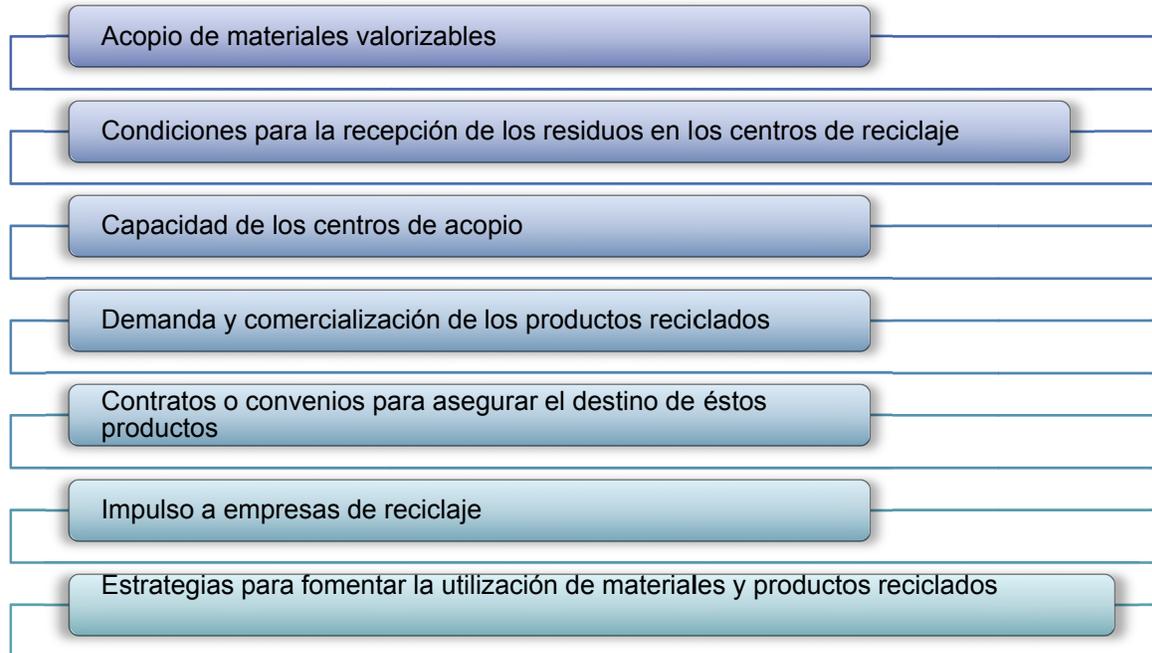
- a. Aditivos de concreto basados en solventes
- b. Productos químicos para impermeabilización
- c. Adhesivos, emulsiones basadas en alquitrán
- d. Materiales basados en asbesto
- e. Aisladores térmicos basados en fibras minerales
- f. Algunas pinturas y recubrimientos
- g. Resinas para tratar madera
- h. Cartón y yeso
- i. Envases vacíos para soldado y corte, residuos de soldadura

En la actividad de demolición es muy probable encontrar materiales contaminantes que pueden ser retirados y almacenados antes de proceder. Dentro de estos elementos se encuentran:

- a. Materiales basados en asbesto
- b. Productos químicos para tratar madera
- c. Aisladores térmicos basados en fibras minerales
- d. Equipo eléctrico con contenido tóxico
- e. Refrigerantes
- f. Recubrimientos contra incendio
- g. Envases vacíos de gas para soldado y cortado

La selección y clasificación de los materiales provenientes de la construcción y demolición se justifica en principio para ordenar y evitar contaminación y lograr una valorización que sea atractiva al contratista.

Los factores que influyen para la valorización de los residuos se pueden ver de la siguiente forma:



3.3 Disposición final. Procesos y mejores prácticas

3.3.1 Plantas de reciclaje y tratamiento integral de residuos de la construcción

El principio de una planta de tratamiento de RCD es la separación y la producción de materiales valorizables. En nuestro país sólo existen las plantas que sólo producen los materiales y que requieren por lo tanto que los residuos estén libres de contaminantes (ver *Tabla 5*).

Sin embargo en países europeos las plantas tienen la capacidad de recibir los residuos sin previa clasificación, pues tienen equipo especializado para realizar la limpieza y clasificación del material.

Entre los condicionantes técnicos es importante realzar el cuidado necesario con la segregación y preparación del material antes de entrar en el proceso productivo; la existencia real de mercado para los agregados reciclados; la necesidad de gestionar los elementos contaminantes; y la necesidad de garantizar una continuidad de la calidad, propiedades y volumen producido.

Las plantas de RCD tienen en general el siguiente diseño básico:

- a. Clasificar. Proceso de separación de partículas de residuo, utilizando métodos de separación por gravedad con agua o aire.
- b. Triturar. Proceso mecánico de reducción del tamaño de las partículas y de la separación de componentes contaminantes.
- c. Tamizar. Proceso de separación de las partículas en granulometrías específicas.

Las plantas tienen el mismo concepto básico de instalaciones de producción de agregados naturales. Teniendo los mismos equipos que la industria minera (trituradoras y/o molinos, cribas y mecanismos transportadores).

Requieren además de equipos para la eliminación de contaminantes como electroimanes para la separación de elementos metálicos.

El esquema de producción de una planta de reciclaje, se compone por todas o algunas de las etapas presentadas en la *Tabla 5*. Los criterios de diseño pueden variar teniendo una o dos líneas de producción, trituradora, cribas, trituración primaria y/o secundaria, clasificación mecánica y/o manual, cabinas de limpieza, limpieza por aspiración o separación de materiales metálicos.

Etapa	Tipo de proceso	Proceso
Control y separación de entradas	Manual	Control propiedades iniciales (color, olor y textura)
	Manual /mecánico	Documentación de origen
	Manual	Identificación de contaminantes
	Manual / mecánico	Pesaje
	Manual	Definición de acopios específicos por material de entrada
Pre - cribado	Mecánico	Alimentador pre- cribado
Clasificación y limpieza	Mecánico	Lavadoras
		Sopladores
		Ciclón
Trituración primaria o secundaria	Mecánico	Mandíbulas
		Impacto
		Conos
Cribado	Mecánico	Cintas y criba

Tabla 5. **Procesos generales de una planta de reciclaje.**

Fuente: Güell, Vázquez, Varela; *Guía Española de Áridos Reciclados procedentes de Residuos de Construcción y Demolición*, "Diagnostico Reciclaje RCD en España"; Gremio de Entidades del Reciclaje de Derribos; 2008.

Control y separación de entrada

En su mayoría las plantas tienen un control de recepción a través de la inspección visual, pesaje, y una clasificación inicial. En ésta fase se identifican los contaminantes para aceptar o rechazar el residuo a la planta.

La clasificación se realiza conforme a los siguientes aspectos:

- La calidad del material (RCD limpio o sucio).
- La composición (concreto, mampostería, etc).
- El tamaño de los RCD

Pre-cribado

El pre cribado consiste en la separación de los áridos dependiendo de su granulometría. Éste procedimiento tiene como objetivo:

- Controlar el tamaño de entrada de materiales al triturador primario. El material obtenido por la primera criba es la alimentación de la línea de clasificación, mientras que el material separado se procesa con martillos.
- Separar los materiales con granulometría más fina que no necesiten trituración. El material que pasa por la primera criba se almacena como producto final, el material rechazado sigue la línea de clasificación o de molino primario.

Clasificación y limpieza

En esta etapa se separan los materiales heterogéneos, materiales pétreos y de los no pétreos.

Los equipos utilizados para el sistema de clasificación y limpieza son: tromeles¹³, cribas, cabinas de triaje, electro imanes, sopladores, lavadoras y ciclones.

Sin embargo las más utilizadas son

- Separación magnética que se utiliza para separar el acero, y se realiza después de la trituración primaria y secundaria para evitar que el acero dañe las cintas transportadoras.
- Separación en cabina de triaje.

Respecto a los sistemas de limpieza se utilizan dispositivos basados en la separación del flujo de aire.

Trituración

El sistema de reciclaje puede tener uno o varios tipos de trituración con diferentes tipos de máquina. En general los sistemas utilizados son:

- Mandíbulas.
- Conos.

¹³ *Tromel. Máquina de cribado que tienen una superficie cilíndrica, pueden girar alrededor de un eje que pasa por su centro aunque el más utilizado es mediante trenes de neumáticos colocados exteriormente. Los tromeles de cribado se colocan horizontalmente o con una ligera inclinación hacia la salida para facilitar el avance del material. Están constituidos por chapas perforadas curvadas o por paneles de malla convenientemente ensamblados dependiendo de la aplicación del equipo: trómeles simples o dobles para plantas de residuos urbanos, trómeles para instalaciones de tratamiento de residuos de construcción y demolición.*

- Impacto.

Los procesos de trituración son de gran importancia pues de éstos depende la calidad y granulometría de los agregados que se obtengan. Las plantas presentan una primera fase de trituración primaria (mandíbulas), y secundaria (impacto).

La selección y complejidad del sistema de reciclaje dependerá del grado de procesamiento del RCD que se determina por:

- El uso final del material reciclado.
- La cantidad de contaminación que contenga el residuo a procesar

Control de emisiones de polvo

Para tener control sobre las emisiones de polvo se pueden utilizar sistemas de niebla seca¹⁴ y aditivo tensoactivo¹⁵. Éste sistema se basa en la atomización de agua y tensoactivo con ayuda de aire a presión, para establecer un envoltorio de partículas de agua que impiden la propagación del polvo.

¹⁴ Sistema basado en la atomización de agua con aire comprimido.

¹⁵ Los tensoactivos son sustancias que influyen por medio de la tensión superficial en la superficie de contacto entre dos fases.

Planta de reciclaje en México



Figura 2. *Planta de reciclaje de RCD “Concretos Reciclados S.A. de C.V.”.*

1. Se realiza una primera selección del residuo, donde se separan los productos de demolición o excavación en bancos divididos para garantizar la calidad del producto final. La limpieza se realiza a mano, debido a que se establece como requisito que el residuo esté limpio de contaminantes (ver Tabla 4. Materiales Contaminantes en los RCD), éste proceso permite coleccionar las pequeñas partículas de contaminantes.
2. Se alimenta la trituradora con una retroexcavadora. Pasa por las quijadas se tritura el material que tiene sobre tamaño (por encima de 3”).
3. El material pasa a una banda transversal donde un electro imán recoge el material metálico.
4. El material cae a una criba, que tiene una cama vibratoria con mallas que separan el material en diferentes granulometrías. Éste material todavía tiene un sobre tamaño por lo que se envía a un cono de trituración.

5. Posteriormente pasa a la criba que clasifica el material dependiendo de la granulometría requerida. El material fino queda listo para su utilización.
6. El material de $\frac{3}{4}$ " requiere de una limpieza adicional para retirar algunos contaminantes que todavía no han sido retirados.

3.3.2 Mejores prácticas

El éxito en la implementación de planes y reutilización de los residuos de la construcción y demolición (RCD) dependerán en gran medida de completar los siguientes pasos:

- Identificar a contratistas, mercados, instalaciones y material.
- Identificar los recursos locales existentes y determinar la problemática de transportar los desechos.
- Identificar los requisitos de cumplimiento ambiental y mejores prácticas de gestión para la eliminación y mitigación.
- Cuantificar y caracterizar el uso potencial de los RCD.
- Identificar el rango de opciones de contratación disponibles para implementar la gestión de manejo de RCD.
- Desarrollar una estrategia de cumplimiento para la gestión de RCD y cumplimiento de las políticas ambientales.
- Desarrollar planes genéricos de gestión de residuos.

Se formulan las siguientes propuestas que pueden contribuir a una estrategia de reciclaje de RCD en la construcción.

Planificación de la Gestión de Residuos.

La gestión de RCD debe ser una parte integral del desarrollo de un proyecto. Cada uno de los principales participantes del proyecto, el propietario, arquitectura e ingeniería o consultor Gestión de la Construcción, el Contratista y Subcontratistas, participarán en la gestión de residuos de alguna manera en todo el proyecto. Inicialmente, el propietario y sus diseñadores deben establecer metas de reducción de residuos y definir el nivel de reducción alcanzable y razonable, en las condiciones del proyecto.

Los diseñadores pueden tener la opción de ocupar edificios existentes para evitar nuevas construcciones y demoliciones. Durante la fase de diseño es fundamental la reducción de uso de recursos, consumir menos materiales, usar menos materiales tóxicos, y reducir o eliminar residuos subsecuentes, para lograr esto se propone:

- Simplificar plantas.
- Usar prefabricados. Minimizar residuos, para posteriormente usar eficientemente el material.

- Especificar materiales reciclables.
- Especificar materiales no peligrosos. Usar biodegradables en vez de derivados de petróleo.

El Contratista es responsable de los medios, métodos, técnicas, secuencias y procedimientos de construcción, que incluyen métodos de eliminación de residuos. Sin embargo, el equipo de diseño de ingenieros y arquitectos también puede contribuir a la reducción de residuos de varias maneras, que incluyen:

- Ser eficiente en el uso de área y volumen. Si se requiere menos material por el diseño, se generan menos residuos en el lugar de trabajo.
- Usar los elementos "en módulo" para reducir el ajuste de corte que generan residuos.
- Seleccionar si es posible la construcción que no requiere de apoyo temporal (cimbra).
- Reducir las necesidades de acabados aplicados, laminados, recubrimientos, adhesivos, envases y residuos. Cuando sea posible, prefiriendo los materiales con acabados integrales.
- Evitar los materiales sensibles a los daños, la contaminación, la exposición del medio ambiente, o el deterioro en el lugar, lo que aumenta el potencial de los residuos obra.

Requisitos del Contrato de Construcción.

El propietario y los proyectistas deben determinar en qué forma sus necesidades de gestión de residuos se incorporarán en los documentos del contrato y en el proyecto. Deben hacer un análisis de las disposiciones más relevantes para el desempeño global de residuos del proyecto de reducción.

Básicamente, existen tres formas de representar las necesidades de reducción de residuos en los documentos del contrato.

- Describir los objetivos de reducción de residuos que propone el propio contratista. Especificar los residuos y criterios mínimos de desvío de los residuos. Esto se incorpora en la especificación de demolición como un criterio numérico, como por ejemplo "desvío de la eliminación en vertederos de un mínimo de 75% de los residuos de la construcción no peligrosos generados en la obra."
- Desarrollar incentivos para recompensar al contratista. Esto se puede implementar como un incentivo de premios, basado en la tasa de desviación.
- Exigir al contratista que presente un plan de manejo de RCD, y de gestión de residuos. El Plan puede incluir:
 - o Nombre de la persona (s) responsable de la prevención y gestión de residuos.
 - o Acciones que se tomarán para reducir la generación de residuos sólidos.

- Descripción de las reuniones periódicas para abordar la gestión de residuos.
- Descripción de los métodos específicos que se utilizan en el reciclado / reutilización.
- Caracterización de los residuos, los tipos y las cantidades estimadas de material.
- Nombre de los vertederos y los costos estimados, suponiendo que no hay recuperación o reciclaje.
- Identificación de los programas de reutilización local y regional.
- Lista de los materiales residuales específicos a ser recuperados y reciclados.
- Porcentaje estimado de los residuos desviados por este Plan.
- Las instalaciones de reciclado.
- Identificación de materiales que no pueden ser reciclados o reutilizados.
- Descripción de los medios por los cuales los materiales a ser reciclados o recuperados serán protegidos de la contaminación.
- Descripción de los medios de acopio y transporte de los materiales reciclados y recuperados.
- Estimado de los costos netos o ahorro.

Reducción de residuos.

Hay una variedad de maneras en que un contratista puede desviar los residuos de construcción o demolición en la obra:

- Un porcentaje considerable de residuos de un proyecto de construcción puede ser solo de cartón. Mientras no sea necesaria la protección de los materiales nuevos, el contratista puede pedir a los proveedores que reduzcan los empaques y/o embalajes.
- Comprar materiales a granel siempre que sea posible. Evitar los envases individuales en compras por volumen. Utilizar envases retornables y materiales de embalaje.
- Reutilización de los envases no recuperables en el lugar de trabajo a medida de lo posible. Ampliar uso de barriles de plástico o cubetas.
- Regalar los envases no recuperables a organizaciones locales y comunitarias (escuelas, grupos de servicio comunitario).
- El uso de recortes y sobrantes en lugar de cortar nuevos materiales.
- Recoger pinturas y líquidos de los recipientes casi vacíos, evitar el desperdicio de materiales utilizables.
- Para los materiales que se calientan, mezclan, o que están expuestos a condiciones ambientales o de alguna manera sujetos a caducidad, limitar la preparación de estos materiales a las cantidades que se pueden instalar dentro de los tiempos de su vencimiento. Trabajar en lotes más pequeños reducirá la necesidad de desechar los materiales caducados o en mal estado.

- Asegurar que los materiales volátiles, y los materiales que se degradan cuando son expuestos al calor, frío o la humedad estén protegidos contra el deterioro o desperdicio.
- Reciclar componentes dañados, productos y materiales, o desarmarlos en sus componentes, para su reciclaje.
- Establecer un acuerdo de devolución o de recompra con los proveedores.

Recolección de RCD

La clave para la separación de los residuos en el lugar de trabajo eficaz es, colocar los recipientes en el camino de menor tránsito, la información personal para observar las prácticas de separación y la vigilancia de la obra para evitar la contaminación.

El proceso de construcción se presta a la separación en sitio. Debido a las entradas y salidas del lugar de trabajo, se genera un flujo de residuos relativamente homogéneo, teniendo en cuenta las tareas específicas y los materiales con los que se trabajan. Como los materiales reciclables se deben separar, las empresas de reciclaje en otros países en general ofrecen un precio más alto por el material, o una tasa inferior de transporte. En nuestro país no existen empresas que ofrezcan servicios de transportista de residuos que proporcione los recipientes para los materiales reciclables y los residuos, transportando todo el material como un servicio integral. El movimiento eficiente de materiales y el diseño del sitio debe minimizar cualquier esfuerzo o sobrecosto.

El potencial de desvío de residuos de la demolición es considerable. El tipo de construcción del edificio y programación del proyecto son los dos principales factores en la determinación de qué y cómo recuperar, reutilizar y / o reciclar. Se puede considerar lo siguiente:

- Desarrollar el programa del proyecto para integrar la reutilización o reciclaje. La calidad y cantidad de materiales recuperados es una función directa del tiempo disponible para la recuperación.
- Antes de la demolición, retirar la cantidad de material utilizable y componentes. Ventanas y puertas, pisos de madera, carpintería, instalaciones eléctricas, plomería, equipo mecánico, etc.,
- Elaborar el Plan de Gestión de residuos, identificar los materiales más accesibles y valiosos, optimizando la aplicación de los recursos a esta tarea.
- Materiales de concreto y mampostería se pueden reciclar para producir agregado. Esto se puede conseguir en el sitio con equipo móvil, o escombros pueden ser transportados a una planta de reciclaje permanente.
- Considerar los agregados reciclados de concreto que se utilizarán, qué productos son más reutilizables y cómo el escombro debe ser procesado para reciclarlo.

- Materiales de jardinería y de madera que no esté pintada con pintura con plomo, o contaminados de otra manera con materiales peligrosos o tóxicos pueden ser triturados para su reciclado, elaboración de composta o incluso para ser usados como combustible en una caldera en sitio o en otro lugar.

3.3.3 Herramientas

Para incorporar, ejecutar, monitorear y documentar el plan de gestión de RCD se pueden incorporar herramientas que faciliten el proceso.

A continuación se muestran algunas herramientas para la gestión de residuos de la construcción.

Para la **caracterización** de los materiales se puede utilizar la siguiente clasificación:

<i>Material de demolición</i>	<i>Comentarios</i>
Acero: estructural	
Acero: refuerzo	
Acero: láminas	
Alambrados: mallas	
Aluminio	
Accesorios de plomería	
Aislamiento	ACBM ¹⁶
Asfalto: pavimento	
Cimbra de madera	
Concreto	
Equipo de aire acondicionado	CFC ¹⁷
Elevadores y equipo	
Equipo eléctrico	
Eléctrico: cables, tableros, conductos	PCB ¹⁸
Espejos	
Fibra de vidrio	
Fierro fundido	
Ladrillos	
Lámparas: fluorescentes	

¹⁶ ACBM. *Materiales de Construcción con Asbesto (Asbestos-Containing Building Material)*.

¹⁷ CFC *Clorofluorocarbono*.

¹⁸ PCB. *Bifenilos policlorados*.

Lámparas: incandescentes	
Latón	
Madera dura	
Madera: tratada	
Mármol: pisos, muros	
Materiales con contenido de asbesto: aislamientos, techumbres, pavimentos, revestimientos, ductos, adhesivos.	
Materiales peligrosos	
Materiales derivados del petróleo	
Metal: bronce	
Metal: hierro fundido	
Metal: lámina galvanizada	
Metal: cobre	
Metal: acero	
Paneles de yeso	
Papel	
Plafones: membrana	
Plafones: metal	
Plástico: ABS	
Plástico: polietileno	
Plástico: poliestireno	
Plástico: PVC	
Plomo: pinturas	
Plomo: tuberías	
Pisos: alfombras	
Pisos: vinilo	
Pisos: madera	
Sistema contra incendios.	
Tanques de almacenamientos de combustible	
Vidrio	

Vinilo	
Yeso	

Tabla 6. Listado de Materiales que son Residuos de la Construcción y la Demolición

Para la **gestión de los residuos** ya clasificados es necesario definir su destino final, si es posible reciclarlo, reutilizarlo o llevarlo a un vertedero a continuación se presenta un formato para realizar un Plan de Manejo de RCD:

Tipo de material	Destino:			Proyecto:		
	Re-uso	Reciclado	Vertedero	Nombre destino	Dirección	Teléfono
Madera						
Cimbra						
Acabados						
Metales						
Acero estructural						
Misceláneos						
Concreto / Asfalto						
Concreto						
Asfalto						
Mampostería						
Otros						
Material excavación						
Láminas						
Paneles yeso						
Vidrio/ ventanas						
Tuberías						
Equipos eléctricos						
No reciclables						

Tabla 7. Plan de Manejo de Residuos de la Construcción y Demolición

Fuente: Demolition Waste Management Plan Specification Guide for Engineers, Solid Waste Agency of Lake County, Ill.

Índices de Aprovechamiento de RCD.

Para fomentar la máxima valorización de los residuos que inevitablemente se generan en la obra se puede utilizar una metodología de autoevaluación que permita conocer a través de coeficientes el índice de aprovechamiento de un residuo, a continuación se definen los siguientes Índices de Aprovechamiento que se pueden utilizar para éste fin:

Índice de Aprovechamiento

Indica el nivel máximo de valorización de un residuo, dando valores a ciertos factores que inciden en la valorización de los residuos de construcción y demolición que se enumeran a continuación:

- a. Opciones de gestión (características del residuo o del proyecto)
- | | |
|---------------------------------------|------------|
| - Prevención durante fase de proyecto | [4] |
| - Prevención durante la obra | [1] |
| - Recuperación selectiva | [1] |
| - Reutilización | [3] |
| - Reciclaje | [2] |
| - Recuperación energética | [1] |
| - Eliminación en vertedero | [0] |
| Total máximo | [12] |
- b. Factores técnicos (características del emplazamiento). Afectación del entorno inmediato
- | | |
|---|-----------|
| - Entorno afectado. No afectación a edificaciones | [1] |
| No afectación a medio circundante | [1] |
| - Vías para evacuación de residuos | [1] |
| Total máximo | [3] |
- Infraestructuras de gestión.
- | | | |
|---------------|-----------|-----------|
| Acopio | In situ o | [2] |
| | en planta | [1] |
| Clasificación | In situ o | [2] |
| | en planta | [1] |
| Tratamiento | In situ o | [2] |
| | en planta | [1] |
| Total máximo | ..... | [6] |

c. Factores legales. La aplicación de la normativa según la ubicación del proyecto.

- Existencia de gestor autorizado	.....	[1]
- Existencia de normativas	.....	[1]
- Existencia de especificaciones	.....	[1]
	Total máximo	..... [3]

d. Factores económicos del mercado del producto valorizado.

- Valorización in situ o	.....	[3]
Costos de la gestión del residuo		
Residuo limpio o	.....	[2]
Residuo mixto	.....	[1]
- Residuos utilizado in situ u obras próximas o	.....	[2]
Residuos con demanda por empresas	.....	[1]
	Total máximo	..... [5]

Sumando el total de la puntuación Σ = puntuación total = Índice de Aprovechamiento de cada residuo.

Índice de Aprovechamiento Geográfico.

Bajo	< 18
Medio	18 - 23
Alto	24 – 29

Índice de Aprovechamiento en la Obra.

Es un valor absoluto que indica el nivel de aprovechamiento real de un residuo generado en la obra y tendrá un valor igual o menor al Índice de Aprovechamiento con los mismos niveles de aprovechamiento listados anteriormente.

Índice de Optimización en Obra.

Es el cociente entre el Índice de aprovechamiento en obra (IAO) y el Índice de aprovechamiento (IA), en porcentaje.

Bajo	< 50 %
Medio	50 - 75 %
Alto	>75 %

				Puntuación	
				Max	Real s/obra
Factores según características del residuo o del proyecto					
OPCIONES DE GESTIÓN	Prevención	Proyecto	4		
		Obra	1		
		Recuperación selectiva	1		
	Reutilización		3		
	Reciclaje		2		
	Recuperación energética		1		
	Eliminación controlada en vertedero		0		
Factores según características del emplazamiento de la obra					
FACTORES TÉCNICOS	Entorno	Entorno afectado por la demolición y tratamiento	Sin construcciones colindantes	1	
			No afecta al medio natural circundante	1	
		Evacuación	Vías para evacuar RCD	1	
	Infraestructura de gestión	Acopio	Lugares aptos para acopio en emplazamiento	2	
			En plantas de transferencia	1	
		Clasificación	En origen	2	
			En plantas de clasificación	1	
		Tratamiento	Valorización in situ (planta tratamiento móvil)	2	

		En planta de tratamiento fija	1	
	Eliminación	Vertedero controlado	0	
Factores según características de la zona geográfica				
FACTORES LEGALES	Gestor	Existencia de un gestor autorizado	1	
	Producto valorizado	Existencia de normativa	1	
		Especificaciones técnicas	1	
FACTORES ECONÓMICOS	Costos	Transporte	Valorización in situ (sin gastos de transporte)	3
		Tarifas de gestión	Aplicación de tarifas de RCD limpio	2
			Aplicación de tarifas de RCD mixto	1
		Tarifas de vertido		0
	Mercado	Demanda in situ	En el mismo emplazamiento	2
			En obras próximas en ejecución o previstas	2
		Demanda del producto	Por parte de empresas constructoras y fabricantes de materiales y productos de construcción	1
Índice de Aprovechamiento			∑	
Índice de Aprovechamiento en Obra			∑	
Índice de Optimización en Obra			IAO/IA*100=%	

Tabla 8. Índices de Optimización en la gestión de RCD.

Fuente: Propuesta Metodológica para la obtención de un Índice de Aprovechamiento de Residuos en Obras de Rehabilitación en Andalucía, Ponencia SB10mad, Sustainable Building Conference, Madrid, 2010

Conclusión: Los residentes de obra tienen una gran responsabilidad y es necesario hacerles saber la importancia de una buena clasificación y limpieza en el sitio donde se generan los RCD, la implementación de herramientas cómo las que se presentan en éste trabajo pueden ayudar a que los residuos sean aceptados en las plantas de reciclaje y así evitar su vertido sitios incontrolados.

4 HUELLA DE CARBONO EN LA CONSTRUCCIÓN

Se describe el concepto de huella de carbono y cómo el análisis del ciclo de vida es una técnica de gestión ambiental para determinar el impacto que genera una edificación en el medio ambiente. También se utiliza para analizar cómo impactan los materiales de construcción y así tomar de decisiones durante el proceso de diseño.

4.1 Introducción

Las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero (por sus siglas GEI) por efecto de actividades humanas han aumentado, desde la era preindustrial, en un 70% entre 1970 y 2004¹⁹.

Las concentraciones atmosféricas mundiales de CO₂, metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O) han aumentado notablemente por efecto de las actividades humanas desde 1750, y son actualmente muy superiores a los valores preindustriales. Estas emisiones han elevado la temperatura global 0.74°C, trayendo consigo cambios que van desde el aumento del nivel del mar hasta alteraciones en los ecosistemas; si la tendencia continua se podría elevar de 1.8 a 4°C para 2100 según los especialistas del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC)²⁰ lo que pudiera traer modificaciones y consecuencias aún más profundas.

Para mantener por debajo de los 2°C la elevación de temperatura global es necesario reducir de 40 a 45%²¹ de las emisiones para el año 2050. El reducir emisiones a niveles que impidan la interferencia con el sistema climático, pero a la vez que permitan el desarrollo económico, requerirá cambios sustanciales en el uso de la energía, incluyendo el desarrollo de nuevas tecnologías para uso eficiente y conservación de recursos.

El cambio climático tiene efectos de gran escala y nadie está excluido de ellos. Es importante señalar que la variabilidad natural del clima se produce constantemente por causas naturales y por ésta razón la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático usa el término *cambio climático* para definir el cambio de clima atribuido directa o indirectamente de la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos comparables.

¹⁹ PNUMA, *Cambio Climático, Informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático 2007*.

²⁰ http://unfccc.int/portal_espanol/informacion_basica/items/6168.php

²¹ IPCC, *Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge, University Press, 2007*.

En la recién aprobada *Ley General de Cambio Climático (2012)*, México se compromete a reducir el 30 por ciento de sus emisiones al 2020; y el 50 por ciento para el 2050 con respecto al 2000. A través de dos vertientes:

- Mitigación de emisiones de GEI, por medio de instrumentos regulatorios: Inventario Nacional de Emisiones y el Registro Nacional de Emisiones, instrumentos económicos como el Sistema voluntario de comercio de permisos de emisiones, así como el Fondo para el Cambio Climático.
- Medidas de adaptación. La ley establece: instrumentos de diagnóstico como el Atlas Nacional de Riesgo y la creación de instrumentos de planificación urbana y prevención ante desastres naturales.

Por lo anterior es fundamental fomentar la investigación, desarrollo e innovación de tecnología en materia de adaptación y mitigación al cambio climático debido al impacto ambiental que genera la industria de la construcción.

Emisiones totales de GEI en el 2004

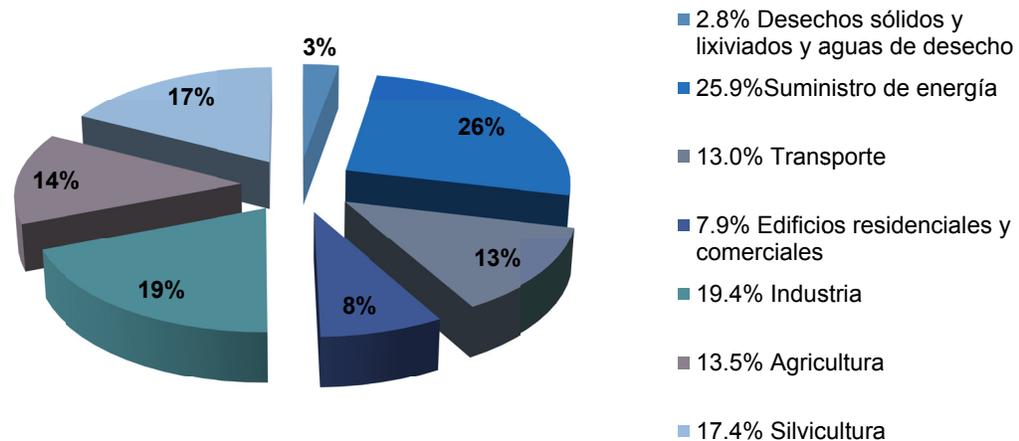


Figura 3. Emisiones totales de Gases de Efecto Invernadero en 2004.

Parte proporcional que representan diferentes sectores en las emisiones totales de GEI antropogénicas en 2004, en términos de CO2 equivalente (incluyendo la deforestación en sector de silvicultura). (IPCC, 2007)

4.1.1 Términos y definiciones

Antropógeno. Resultante o producido por acciones humanas.

Biogen. Derivativo de biomasa, fosilizado o de fuentes fósiles.

Biomasa. Masa total de organismos vivos en una zona o volumen determinado; a menudo se incluyen los restos de plantas que han muerto recientemente.

Bienes de capital. Bienes como maquinaria, equipo e instalaciones usados durante el ciclo de vida del producto.

Dióxido de carbono equivalente CO₂e. Es la unidad de medición usada para indicar el potencial de calentamiento global de cada uno de los gases de efecto invernadero, en comparación con el dióxido de carbono. Los gases de efecto invernadero distintos del dióxido de carbono son convertidos a su valor de dióxido de carbono equivalente multiplicando la masa del gas en cuestión por su potencial de calentamiento global.

Emisiones. La liberación de gases de efecto invernadero y/o sus precursores y aerosoles en la atmósfera, en una zona y un período de tiempo específicos.

Emisiones anticipadas durante el ciclo de vida. Son las emisiones calculadas usando datos secundarios o una combinación de datos primarios y secundarios para todos los procesos aplicados durante el ciclo de vida del producto o servicio.

Energía renovable. Es aquella fuente de energía sostenible, dentro de un período de tiempo breve comparado con el ciclo natural de la Tierra, incluyendo tecnologías no basadas en el carbono, solar, hidrológica y eólica y las tecnologías neutras en carbono como la biomasa.

Huella de carbono. Es una medida del impacto que tienen nuestras actividades en el medio ambiente, y en particular en el cambio climático. La huella de carbono es una medida de todos los gases de efecto invernadero que producimos directa o indirectamente por individuos y empresas para la obtención de electricidad, calor, transporte, etc. y se miden en toneladas o kilogramos de dióxido de carbono equivalente.

Gases de efecto invernadero. Son gases integrantes de la atmósfera, de origen natural o antropogénico, término que nos indica son resultado de actividades humanas que han generado contaminación ambiental química o biológica. El efecto invernadero es un fenómeno natural que mantiene la temperatura del planeta en un valor medio de 15°C. La superficie terrestre no absorbe toda la energía solar, una parte se refleja y otra es retenida por éstos gases que son principalmente: vapor de agua (H₂O); dióxido de carbono (CO₂); óxido nitroso (N₂O); metano (CH₄); y ozono (O₃). El Protocolo de Kioto incluye otros gases de efecto invernadero producidos por la actividad humana como el hexafluoruro de azufre (SF₆), los hidrofluorocarbonos (HFC), y perfluorocarbonos (PFC).

Potencial de calentamiento global. Define el efecto de calentamiento integrado a lo largo del tiempo que produce hoy una liberación instantánea de 1 kg de un gas efecto invernadero, en comparación con el causado por el CO₂.

4.1.2 Consideraciones

Como se dijo anteriormente la *huella de carbono* es un término usado para describir la cantidad de Gases de Efecto Invernadero (GEI) que una actividad o entidad emite y una forma de medir la contribución al cambio climático. Si bien existe una conciencia creciente y cada vez más fuerte en los países desarrollados, hay varias formas de considerar la Huella de Carbono como herramienta de mitigación pues conociendo la cantidad de emisiones y su origen se pueden tomar las acciones necesarias para reducirlas.

Dos fenómenos ligados con la industria, el confort y la construcción son los mayores causantes del efecto invernadero: el uso de combustibles fósiles y la deforestación para usar el suelo en infraestructura o en agricultura.

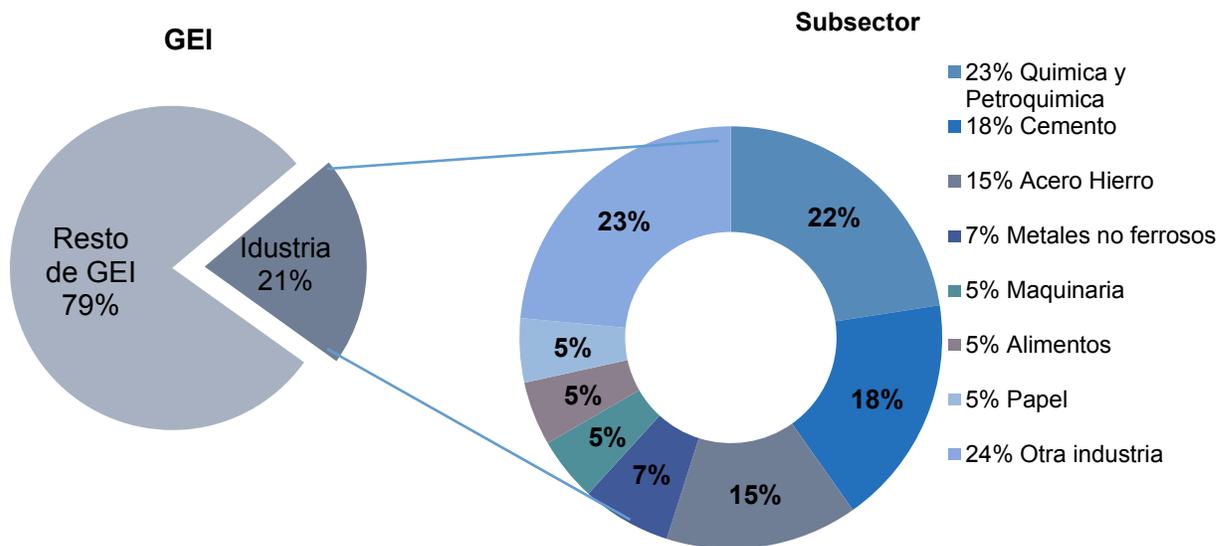


Figura 4. Emisiones de GEI por sector industrial.

Fuente: "Greenhouse Gas Data and International Climate Policy", World Resources Institute, p. 70, USA, 2005.

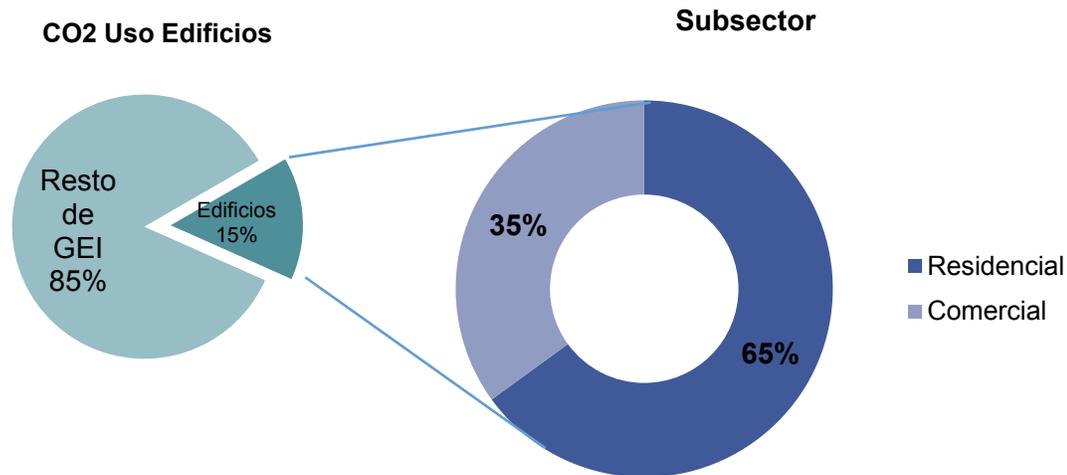


Figura 5. Emisiones de GEI durante el uso de las edificaciones.

Fuente: "Greenhouse Gas Data and International Climate Policy", World Resources Institute, p. 81, USA, 2005.

La industria de la construcción es una de las claves para tomar acciones contra el cambio climático, reduciendo el consumo de energía, mejorando los sistemas de producción y haciendo un menor consumo de los recursos provocará una reducción en las emisiones.

Debido al gran impacto ambiental que tiene la industria de la construcción es necesario incorporar políticas, herramientas e incentivos que permitan:

- Gestionar el uso y emisión de energía.
- Consumir recursos eficientemente
- Medir el desempeño ambiental
- Obtener datos confiables
- Entender el impacto medio-ambiental.

Midiendo el uso de energía y reportando las emisiones de efecto invernadero de las edificaciones se puede definir el impacto ambiental de un edificio. Considerando principios y estándares de evaluación de desempeño ambiental.

La evaluación de las emisiones de gases de efecto invernadero deben realizarse utilizando técnicas de Análisis del Ciclo de Vida (por sus siglas ACV). El ACV de un edificio permite acercarse y evaluar los impactos provocados al medio ambiente próximo a las edificaciones. Éste análisis nos permite medir comparativamente las emisiones y buscar oportunidades para su reducción.

Es necesario tener una perspectiva integral de la vida completa: materiales, construcción, mantenimiento y fin de vida, y caracterizar el impacto acumulativo del edificio.

4.2 Análisis del Ciclo de Vida

El Análisis del Ciclo de Vida es una de las varias técnicas de gestión ambiental que son utilizadas a nivel mundial, algunas de ellas son las siguientes:

- Inventario de Ciclo de Vida (por sus siglas ICV). Es un inventario de todas las emisiones relevantes materiales y flujo de energía (entradas y salidas) a lo largo del ciclo de vida de un producto, incluida su eliminación o reciclado.
- Eco-diseño. Se refiere a la metodología aplicada al diseño de un producto y de su proceso de fabricación orientada a la prevención o reducción del impacto ambiental.
- Estudio de Impacto Ambiental (EIA). Se realizará para saber si el proyecto impactará negativamente al medio en el cual se ubicará. Se debe tomar en cuenta los estudios de impacto ambiental así como la subsanación de los daños; restricciones del uso de agua, tratamiento y reutilización; protección de contaminación al suelo; manejo de residuos contaminantes; fuentes de energía ecológicas; prevención de contaminación por ruido, calor, y olor.
- Auditoría Ambiental (AA). Consiste en cuantificar los logros y la posición de un inmueble para lograr una mayor eficiencia ambiental, incrementando su competitividad, con un buen desempeño en su construcción y futura operación.

La Norma Internacional ISO 14040 proporciona los principios y el marco metodológico y proporciona ciertos requisitos para la realización de estudios de ACV. Para detalles sobre las diversas fases están las normas complementarias

- ISO 14041 (Gestión Ambiental. Análisis del Ciclo de Vida. Definición de objetivos, alcance y análisis de inventario);
- ISO 14042 (Gestión ambiental. Análisis del Ciclo de Vida. Evaluación de Impacto del Ciclo de Vida);
- ISO 14043 (Este documento está destinado a proporcionar orientación sobre la interpretación de los resultados de la ACV en relación con la fase de definición de objetivos, revisión del alcance, así como la naturaleza y la calidad de los datos recogidos).
- ISO 14044 (Gestión Ambiental. Análisis del Ciclo de Vida. Requisitos y directrices).
- ISO /TS 14048 (Gestión Ambiental. Análisis del Ciclo de Vida. Modelo de documentación de los datos).
- ISO 14064-1 (Gases de Efecto Invernadero. Parte 1: Especificación con guía a nivel organizativo para la cuantificación e informe de las emisiones y reducciones de gases de efecto invernadero).

La denominación del ACV dada por la Norma ISO 14040 (Gestión Ambiental. Análisis del Ciclo de Vida. Principios y estructura) la define como “una técnica que permite evaluar los aspectos medioambientales y los potenciales impactos asociados con un producto, proceso o actividad a través de:

- Definir el *objetivo y alcance* donde se ubican los límites del sistema y el nivel de detalle dependiendo del uso previsto del ACV.
- Recopilar un *inventario* de entradas (materia y energía) y las salidas (productos, emisiones atmosféricas, residuos sólidos, etc.), relevantes del sistema (producto, proceso y/o actividad objeto de estudio).
- *Evaluar los potenciales impactos* ambientales generados como consecuencia de las entradas y salidas mencionadas.
- *Interpretar* los resultados de las etapas anteriores (inventario y evaluación de impacto), de acuerdo con los fines que se pretendan lograr con el ACV.

La evaluación del ciclo de vida para un producto es un campo de estudio bien establecido, sin embargo aún no existe una norma internacional específica para la construcción.

De cualquier forma el ACV se irá incorporando poco a poco en los códigos y normas de la industria de la construcción pues los proyectos requieren en la actualidad una evaluación en el aspecto ambiental.

El ACV puede ser gradualmente introducido en cualquier organización empezando con metas y objetivos de acuerdo a los recursos que tienen y progresivamente llevar a objetivos más ambiciosos.

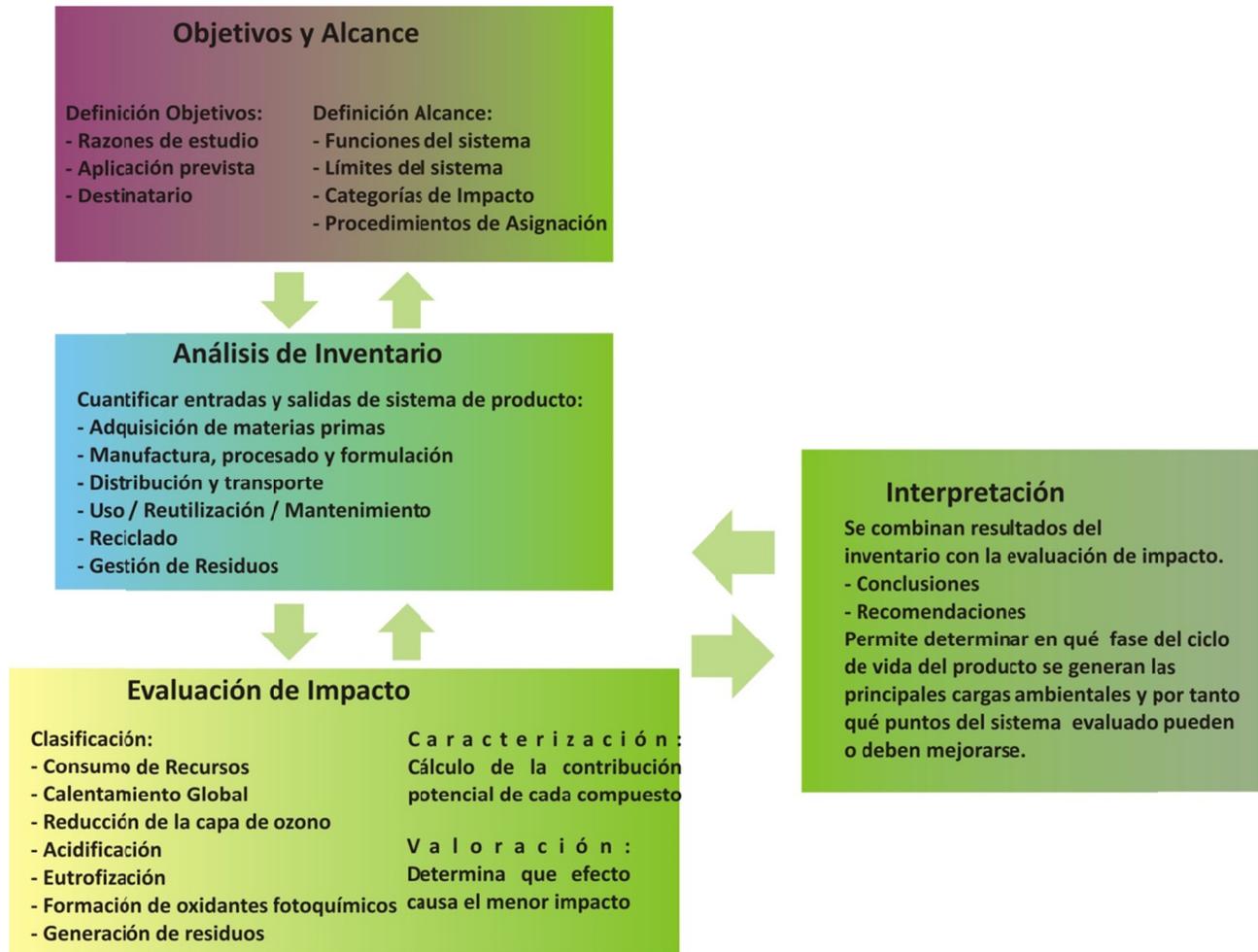


Figura 6. Fases de Análisis del Ciclo de Vida según ISO 14040

Fuente: Basado en Figura 1 Fases de ACV, ISO 14040, Principios y marco metodológico, 1997.



Figura 7. Entradas, salidas y los impactos ambientales potenciales de una edificación a través de su ciclo de vida.

Fuente: Adaptado de "El Análisis del Ciclo de Vida como técnica para alcanzar la ecoeficiencia en edificación, 2010".

4.2.1 Categorías de impacto ambiental

El ACV utiliza categorías de impacto para evaluar los recursos utilizados, los residuos o emisiones generados por la unidad funcional del sistema permitiendo así su evaluación.

Consumo de energía. Es la cantidad estimada de energía de combustibles fósiles utilizados en la extracción, proceso, transporte, fabricación y disposición de cada material. Se mide en Mega Joules (MJ).

Uso de materia prima. Es la cantidad estimada de las materias primas necesarias para la extracción, proceso, transporte, fabricación y disposición de cada material. Algunos materiales son ponderados para tener en cuenta los efectos de capacidad de carga ecológica de la extracción. Se mide en unidades de masa.

Potencial de calentamiento global. Es la cantidad estimada de gases de efecto invernadero introducido a la atmósfera. Representa el efecto conjunto del diferente período de permanencia de esos gases y de su eficacia relativa como absorbentes de radiación infrarroja térmica saliente. Medido en unidades de masa de dióxido de carbono equivalente.

Potencial de acidificación. Es la cantidad estimada de los productos químicos que forman ácidos. Independientemente de que algunos gases ácidos tienen un origen natural, muchos otros se generan a partir de fuentes creadas por el hombre como el transporte, procesos industriales y las prácticas agrícolas.

Los gases que presentan los efectos acidificantes más significativos son el dióxido de azufre (SO₂); el amoníaco (NH₃); y los óxidos de nitrógeno (NO_x). Se mide en moles equivalentes de Hidrógeno (H⁺).

Potencial del efecto en la salud respiratoria humana. Es la cantidad estimada de las partículas en suspensión que pueden producir asma, bronquitis, enfermedades pulmonares agudas, etc.

Cada proceso industrial tiene efectos tóxicos diferentes dependiendo de los químicos emitidos, la masa de sustancias químicas liberadas y la toxicidad en humanos de éstas. Se mide en unidades de masa de partículas de 2.5 micras.

Potencial de eutrofización acuática. Es el enriquecimiento de nutrientes en el agua proveniente de contaminantes fertilizantes y aguas residuales; que pueden dar lugar a la proliferación de especies acuáticas fotosintéticas que impiden que la luz llegue a profundidades inferiores de acuíferos. Disminuyendo la fotosíntesis y producción de oxígeno. La eutrofización es especialmente problemática en aguas costeras e interiores, donde las algas pueden proliferar.

El vertido excesivo de nitrógeno en el suelo puede aumentar las concentraciones de nitrato de las aguas subterráneas, lo que aumenta la acidificación tanto de las aguas superficiales como subterráneas. El potencial de eutrofización se calcula en unidades de masa equivalentes de Nitrógeno.

Potencial de agotamiento del ozono. Es la cantidad estimada de sustancias que agotan la capa de ozono²², estas sustancias son básicamente hidrocarburos clorinados, fluorinados o brominados e incluyen:

- Clorofluorocarbonos (CFC)
- Hidroclorofluorocarbonos (HCFC)

²² Las sustancias que agotan la capa de ozono (SAO) son sustancias químicas que tienen el potencial de reaccionar con las moléculas de ozono de la estratosfera. El poder destructivo de estas sustancias es enorme debido a que reaccionan con las moléculas de ozono en una reacción fotoquímica en cadena. Una vez destruida una molécula de ozono, la SAO esta disponible para destruir otras más, su efecto destructivo puede extenderse hasta por 400 años.

- Halones
- Hidrobromofluorocarbonos (HBFC)
- Bromoclorometano
- Metilcloroformo
- Tetracloruro de Carbono
- Bromuro de Metilo
- Medido en unidades de masa de CFC – 11²³ equivalentes.

²³ Los CFC fueron descubiertos a principios de siglo, pero no fue sino hasta la década de los treinta cuando comenzaron sus aplicaciones técnicas: el diclorodifluorometano (CFC-12) como gas refrigerante, y el triclorofluorometano (CFC-11) como agente espumante en las espumas de aislamiento térmico de los refrigeradores. Fue hasta 1987, con la firma del Protocolo de Montreal, que se acordó su eliminación progresiva mediante la reducción de su producción y usos. Desde 1995 los países industrializados prohibieron los CFC y se espera que hacia el año 2030 se eliminarán también los HCFC. Aunque estas medidas representan una ayuda para remediar el daño ocasionado a la capa de ozono, la OMM estima que no será sino hasta la segunda mitad del siglo XXI cuando se pueda esperar la restauración del agujero en la Antártida.

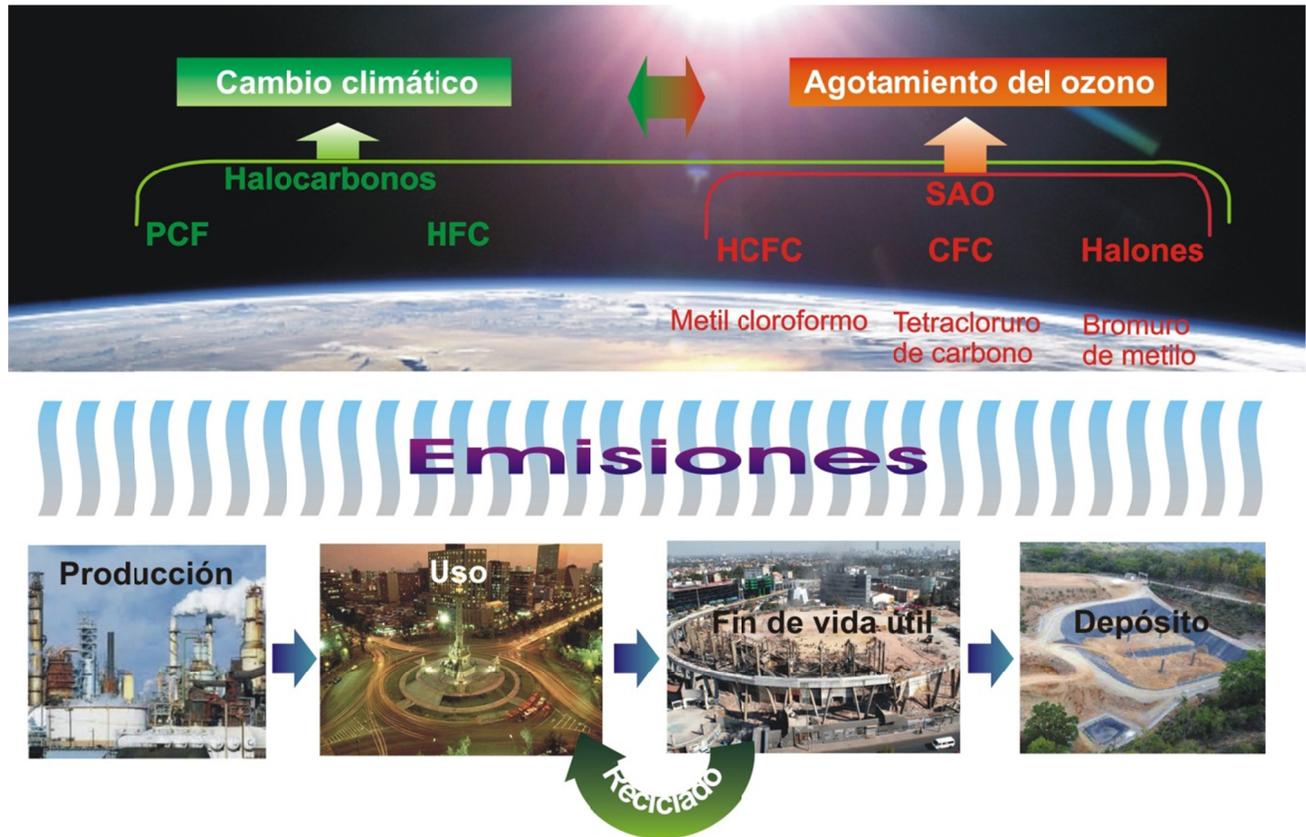


Figura 8. Diagrama esquemático; en rojo los Clorofluorocarbonos (CFC), halones e Hidroclorofluorocarbonos (HCFC) que contribuyen al agotamiento del ozono y al cambio climático, mientras que los Hidrofluorocarbonos (HFC) y los Perfluorocarbonos (PFC) en verde, contribuyen solamente al cambio climático y se encuentran entre las sustancias no perjudiciales para el ozono que podrían utilizarse en sustitución de las Sustancias que afectan el Ozono (SAO).

Fuente: Basado en Gráfico RRP-1, Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático y Grupo de Evaluación Tecnológica y Económica, La Protección de la Capa de Ozono y el Sistema Climático Mundial, 2005.

Potencial de contaminación fotoquímica. Es la cantidad estimada de productos químicos que puedan producir cambios fotoquímicos en la capa de ozono y a nivel del suelo cuando se exponen a la luz del sol. El ozono situado a menos altura, también llamado troposférico, es un contaminante que se forma por una serie compleja de reacciones químicas iniciadas por la luz del sol y en las que reaccionan óxidos de nitrógeno (NO_x , donde $\text{NO}_x \rightarrow \text{NO} + \text{NO}_2$) y compuestos orgánicos volátiles (COV) para crear ozono. Estas reacciones químicas no son instantáneas, sino que tienen lugar a lo largo de varias horas o incluso días, dependiendo del componente. Una vez se ha producido el ozono pueden persistir durante varios días.

Consecuencia de esto, el ozono medido en una ubicación concreta puede haber sido causado por Compuestos Orgánicos Volátiles y emisiones de NO_x procedentes de otro sitio a kilómetros de distancia, y pueden seguir viajando. Las concentraciones máximas se producen normalmente a una distancia en la dirección del viento desde las áreas donde se originan las emisiones contaminantes predecesoras. Se mide en unidades de masa de etileno equivalentes.

Categoría de Impacto	Escala	Ejemplos	Nombre de Identificación	Descripción de unidades
Calentamiento Global	Global	Dióxido de Carbono (CO_2) Dióxido de Nitrógeno (NO_2) Metano (CH_4) Clorofluorocarbonos (CFC) Hidroclorofluorocarbonos (HCFC) Bromuro de Metilo (CH_3Br)	Potencial de Calentamiento Global	Convertir datos a Dióxido de Carbono equivalente (CO_2)
Agotamiento del Ozono	Global	Clorofluorocarbonos (CFC) Hidroclorofluorocarbonos (HCFC) Halones Bromuro de Metilo (CH_3Br)	Potencial de agotamiento de ozono	Convertir datos a Triclorofluorometano (CFC-11)
Acidificación	Regional Local	Óxidos de Azufre Óxidos de Nitrógeno Ácido Clorhídrico (HCl) Ácido Fluorhídrico (HF) Amoníaco (NH_4)	Potencial de Acidificación	Convertir dato en Ion Hidrógeno equivalente (H^+)
Eutrofización	Local	Fosfato (PO_4) Óxido de Nitrógeno (NO) Dióxido de Nitrógeno (NO_2) Nitratos	Potencial de Eutrofización	Convertir datos a Fosfato equivalente (PO_4)

Amoniaco (NH ₄)				
Contaminación Fotoquímica	Local	Hidrocarburos no metanos	Potencial de contaminación fotoquímica	Convertir en Etano equivalente (C ₂ H ₆)
Toxicidad Terrestre	Local	Productos químicos tóxicos con una concentración letal para roedores.	LC ₅₀ ²⁴	Convertir en LC ₅₀ equivalente, utilizar múltiples medios de modelaje.
Toxicidad acuática	Local	Productos químicos tóxicos con una concentración letal para los peces.	LC ₅₀	Convertir en LC ₅₀ equivalente, utilizar múltiples medios de modelaje.
Salud Humana	Global Regional Local	Total de emisiones al aire, agua y suelo.	LC ₅₀	Convertir en LC ₅₀ equivalente, utilizar múltiples medios de modelaje.
Agotamiento de Recursos	Global Regional Local	Cantidad de minerales y combustibles fósiles utilizados	Potencial de Agotamiento de Recursos	Convertir datos en una proporción de la cantidad de recursos utilizados con la cantidad de recursos en reserva
Uso de suelo	Global Regional Local	Cantidad eliminada en un vertedero u otras modificaciones al suelo.	Disponibilidad de suelo	Convertir la masa de residuos sólidos en volumen con una densidad estimada.
Uso de agua	Regional Local	Agua consumida o utilizada	Potencial de agotamiento de agua	Convertir los datos en proporción de agua utilizada en comparación con la cantidad de recursos en reserva.

Tabla 8. Categorías de Impactos Ambientales más representativos

4.2.2 Herramientas de Análisis del Ciclo de Vida.

Empresas privadas e instituciones de educación han desarrollado programas de computadora como herramienta para toma de decisiones durante el proceso de diseño. Estos programas varían en su aplicabilidad, algunos son específicos para la construcción.

²⁴ LC₅₀ es la concentración letal de un compuesto en aire o agua que mata al 50% de los organismos estudiados en condiciones específicas.

Algunos de éstos son:

Software	Compañía	País	Observaciones	Información
Athena Impact Estimator	Athena Sustainable Materials Institute	E.E.U.U.	Análisis del Ciclo de Vida para Edificaciones	http://www.athenasmi.org/our-software-data/impact-estimator/
GaBi "Building LCA"	PE International	Alemania	Análisis del Ciclo de Vida para Edificaciones	http://www.gabi-software.com/international/solutions/building-lca/
Envest2	Envest	Gran Bretaña	Análisis del Ciclo de Vida para Edificaciones, Análisis de Impacto Ambiental	http://envest2.bre.co.uk/account.jsp
SimaPro	PRé	Holanda	Análisis del Ciclo de Vida	http://www.pre-sustainability.com/content/simapro-lca-software/
BEES 4.0 "Building for Environmental and Economic Sustainability"	National Institute of Standards and Technology	E.E.U.U.	Desempeño ambiental de productos para la construcción	http://www.nist.gov/el/economics/BEESSoftware.cfm
EIO-LCA "Economic Input-Output LCA"	Carnegie Mellon	E.E.U.U.	Análisis del Ciclo de Vida	http://www.eiolca.net/index.html

Tabla 9. Programas de computadora para el Análisis del Ciclo de Vida.

Se utilizan a menudo para ayudar en la recolección de datos, procesos de organización y a proporcionar un marco de modelado. Además, los modelos externos, como los de consumo energético de edificios, se suelen utilizar para complementar el modelo básico de Análisis del Ciclo de Vida y proporcionar un campo espacial, temporal, y datos específicos del sistema. Estos modelos son especialmente útiles para caracterizar la fase de operación.

El usuario introduce la información requerida como la ubicación geográfica, la vida útil del edificio, plan de mantenimiento y valores operativos de energía.

El uso de la energía de un edificio se basa en factores tales como:

- a) forma del edificio y la orientación,
- b) materiales de construcción,
- c) tiempo, equipos de construcción, y
- d) requisitos de los ocupantes.

Es conveniente para la toma de decisiones de diseño, un programa que incorpore todos los aspectos de un edificio y las ecuaciones que rigen los procesos físicos.

4.2.3 Beneficios

La incorporación del Análisis del Ciclo de Vida en la toma de decisiones políticas en la aprobación y revisión de normas, en la industria de la construcción y organizaciones privadas que impliquen mejoras en los diseños y operaciones que impacten el medio ambiente.

- Puede ser utilizado como una herramienta científica para coleccionar datos cuantitativos para evaluar la carga ambiental de productos, procesos y servicios de forma transparente y basado en métodos científicos.
- Ayuda a identificar los productos y procesos con eficiencia energética y.
- Permite identificar oportunidades para mejorar el rendimiento medioambiental en las diferentes fases de vida del edificio.
- Identifica los puntos conflictivos en las áreas de interés potencial o actividades que causan mayor impacto.
- Ayuda a seleccionar un producto o un proceso optimizado para una aplicación determinada.
- Facilita revisiones normativas del medio ambiente, para entender los efectos globales y demostrar que las empresas han considerado las acciones para reducir su impacto ambiental.

4.2.4 Limitaciones

Las limitaciones en el Análisis del Ciclo de Vida pueden llevar a la pérdida de oportunidades para tomar las mejores decisiones con respecto al medio ambiente. Las posibles preocupaciones que pueden afectar el ACV son las siguientes:

- Las necesidades de recursos.
- Datos.
- Falta de metodologías adecuadas.
- Orientación limitada
- Incertidumbre sobre la aplicación de resultados.
- Validez.
- Bases científicas.
- Transparencia.
- Ausencia de la necesidad percibida.
- Las estructuras organizadas.

Estas limitaciones se analizan a continuación:

Necesidades de recursos. La implementación del Análisis del Ciclo de Vida requiere medidas específicas, conocimientos, compromiso y financiamiento. Las grandes empresas interesadas en su implementación pueden pagar a entidades externas para que les proporcionen la experiencia y conocimientos técnicos, sin embargo para las pequeñas y las medianas empresas es un alto costo que no pueden afrontar.

Datos. La recopilación de datos puede ser una de las actividades más demandantes, la escasez de datos puede limitar la validez de las conclusiones.

El acceso a datos de alta calidad puede ser un obstáculo para la realización de un ACV, especialmente en el alcance y el nivel de detalle. Existen buenas fuentes de datos sin embargo no todas están disponibles públicamente. La gama de bases de datos varían para cada diseño, formato y calidad. A menudo, los datos no están disponibles en una industria y esta falta de coherencia y transparencia hace que la validación y la documentación sean difíciles.

Los esfuerzos para mejorar la disponibilidad de datos sigue, y algunas organizaciones de la industria ya están desarrollando bases de datos en conjunto con instituciones educativas (CEMEX, Concrete Sustainability Hub en el Massachusetts Institute of Technology MIT)²⁵.

Falta de metodologías adecuadas. Los enfoques del Análisis del Ciclo de Vida y los paquetes de software no pueden abordar todos los impactos potencialmente relevantes. Las categorías de impacto estándar que se indican en las normas ISO 14040 no cubren necesariamente todos estos impactos potenciales y los modelos no pueden ser evaluados.

Orientación limitada. Para determinar el rango del ciclo de vida de un material en términos de calidad y detalle, existen pocas guías que indiquen pautas y métodos para evaluar los diferentes impactos. La mayoría de los documentos de orientación se refieren a países o regiones su aplicabilidad a nivel internacional es limitada. Reconociendo estas limitaciones la iniciativa de la International Life Cycle Partnerships for a Sustainable World UNEP / SETAC (United Nations Environment Programme / Society of Environmental Toxicology and Chemistry)²⁶ han empezado a desarrollar y difundir materiales de orientación.

Incertidumbre sobre la aplicación de los resultados. Los resultados del ACV podrían sugerir un cambio en las operaciones de una empresa, sin embargo los grupos dedicados a la competencia dentro de una organización tienen dificultades para cambiar actitudes para implementar con éxito los resultados de éste análisis.

Validez. La validación comprueba si un modelo es correcto, comparando sus resultados con los del sistema que se está modelando. Desde el punto de vista científico el método de ACV carece de validación empírica, pues el seguir las reglas de aplicación es más importante que la obtención de resultados precisos.

El resultado global. El enfoque de la ACV siguiendo la norma ISO 14040 aumentaría considerablemente la validación.

²⁵ <http://www.cemex.com/ES/DesarrolloSustentable/MaterialesSustentables.aspx>

²⁶ <http://lcinitiative.unep.fr/>

La producción y consumo de bienes en un país puede emplear energía e influencias significativas en las emisiones de GEI. Mientras que las técnicas que se utilizan para calcular el consumo total de energía y GEI se utilizan para estimar la energía total, el predominio de los recursos suministrados a nivel internacional y de los productos pueden complicar el cálculo de los efectos debido a que la misma industria en los diferentes países pueden mostrar diferencias significativas en la estructura de producción y fabricación de la energía. Por lo que las diferencias en el uso de los recursos, la eficiencia energética, los métodos de producción y medio ambiente, leyes y prácticas pueden producir diferentes impactos en el análisis.

Base científica. A pesar de que el ACV se basa en la norma ISO 14040, no hay garantía de que los resultados se basan en resultados científicos.

Transparencia. La transparencia es difícil de demostrar cuando los resultados de diferentes estudios del ACV se comparan, es particularmente importante que los supuestos y las metodologías sean claros, coherentes y documentados. Las normas vigentes y de orientación ofrecen algunas pautas que se siguen para conservar la coherencia, pero en algunas cuestiones las normas dejan una amplia gama de métodos que carecen de transparencia.

Falta de conciencia y necesidad percibida. Muchas empresas no aprecian como el ACV se puede aplicar a sus operaciones específicas e incluso tener beneficios. Mientras que la demanda de los clientes es incorporar el ciclo de vida en los productos. Incluso muchos usuarios no son conscientes de cómo el ACV puede ayudar en la toma de decisiones para comprar uno u otro producto.

La documentación de las mejoras en el rendimiento puede ser tediosa y de un consumo alto de recursos, pero es necesario verificar los resultados de los cambios resultantes del ciclo de vida. Los resultados de muchos estudios de ACV permanecen al interior de la empresa y no se publican.

Estructura de la organización. El análisis debe hacerse de manera integral y evitar una práctica común de llevarlo a cabo en distintas partes de la empresa dando por resultado incongruencias al quedar desconectados entre si y separados de los departamentos de desarrollo y del diseño de procesos. El conocimiento profesional debe compartirse entre los diversos desarrolladores a fin de que se integren en el diseño e implementación de los productos.

Una forma integral de ver el ciclo de vida de un producto, desde su diseño seleccionando cuidadosamente los materiales con menor impacto al ambiente; teniendo un proceso eficiente y limpio que permita el uso mínimo de los materiales; utilizando sistemas de distribución eficientes; y una vez terminado el producto hacerle saber al usuario cómo utilizarlo de forma que su vida útil se extienda al máximo; para finalizar en su reciclaje con procesos que generen los menores impactos.

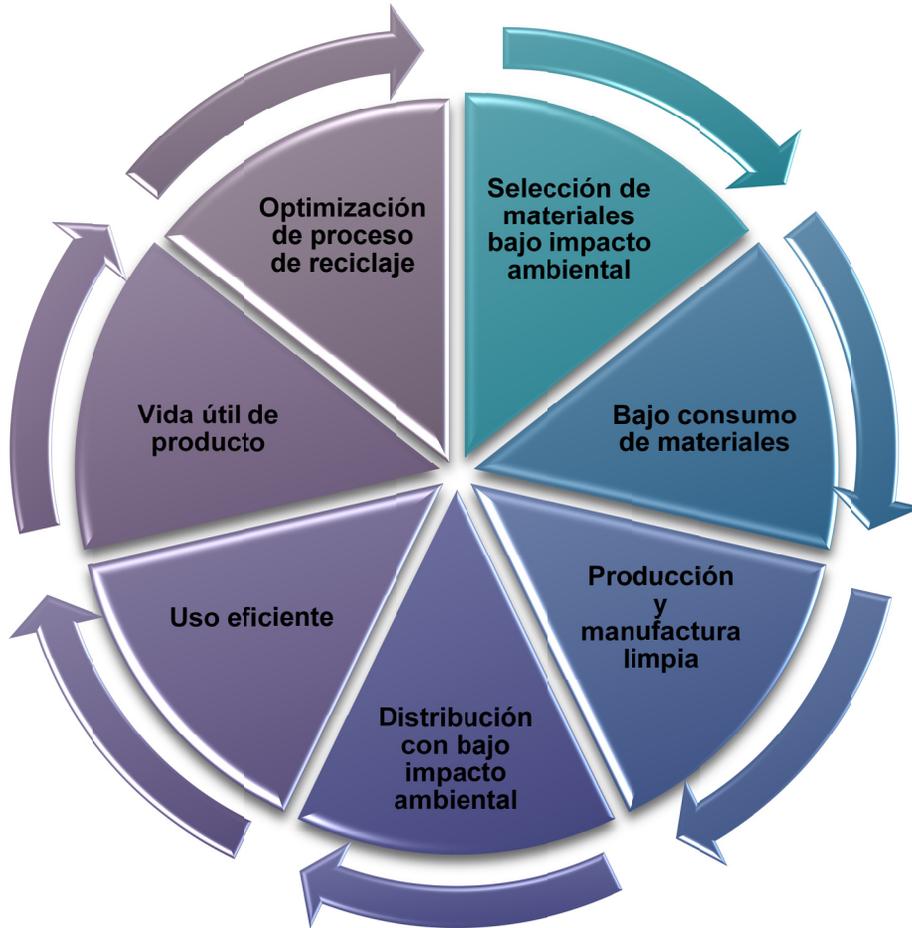


Figura 9. Iniciativa orientada al ciclo de vida de un producto

4.2.5 Ciclo de vida de una edificación

El ciclo de vida de los edificios se divide en cuatro fases: pre-uso, edificación, uso y fin de vida.

La **fase de pre-uso** es la parte inicial, desde la extracción de materia prima para la fabricación y elaboración y, por último, el transporte desde la fábrica hasta el lugar de trabajo, no se tiene en cuenta la energía necesaria para construir los edificios una vez que los materiales lleguen al lugar de trabajo.



Figura 10. Ciclo de vida de un edificio.

La **fase de edificación** es la energía utilizada en el proceso de construcción, electricidad, combustibles, agua y las emisiones asociadas con la preparación de los materiales.

La **fase de uso** es la energía requerida para operar en el edificio, tales como electricidad, calefacción, ventilación y refrigeración (HVAC), y la iluminación. También incluye el mantenimiento general de serie en toda la vida útil del edificio, que consta de cambios de acabados, impermeabilizaciones, reparaciones, ampliaciones, etc.

La **fase final de su vida** asume la demolición total del edificio. La mayoría del material es enviado a un relleno sanitario mientras que el acero, el aluminio, y madera se reciclan. El concreto y mampostería también son reciclados generando agregados que pueden ser utilizados en diversos elementos constructivos como se menciona en el capítulo tres de ésta investigación. El término incorporado se refiere a las emisiones asociadas con los materiales y su disposición a lo largo del ciclo de vida del edificio.

La **fase de uso** de un edificio tiene la **mayor contribución del impacto** del ciclo de vida de una estructura y puede eclipsar si se integra a las otras fases, la de pre-uso y última fase o de disposición final. Es importante investigar el uso de la energía y las emisiones de gases de efecto invernadero de las estructuras para determinar las formas en que estas dos categorías de impacto pueden reducirse. La evaluación del ciclo de vida es una valiosa herramienta a través del cual los diseñadores, los responsables políticos, y los consumidores pueden entender cómo reducir el impacto ambiental de cualquier edificio.

4.3 Metodologías para la determinación de la huella de carbono.

A la fecha no se cuenta con un marco metodológico común y uniforme de medición de las emisiones de GEI en forma voluntaria adaptadas a estructuras internacionales.

Inglaterra y Francia son líderes Europeos en la elaboración de estrategias y herramientas para la determinación y valorización de la Huella de Carbono.

Tanto la normativa PAS 2050 para Inglaterra; como la Bilian CarboneTM en caso de Francia son las metodologías especialmente diseñadas para la cuantificación de la Huella de Carbono para productos o servicios. Francia apunta además, a la implementación de un impuesto al carbono en las fronteras de la Unión Europea.

4.3.1 PAS 2050 2008

Especificación para la valoración de las emisiones de gases de efecto invernadero durante el ciclo de vida de bienes y servicios, publicado y preparado por BSI (British Standards Institution). En un esfuerzo de la comunidad y el sector industrial se desarrolló un método para determinar las emisiones durante el ciclo de vida que son liberadas como parte del proceso de manufactura, modificación, transporte, comercialización, uso, reciclado o disposición de bienes y servicios.

PAS 2050 diferencia dos tipos de ciclos de vida en función del tipo de producto:

- *Business to Business*, cuando el ciclo de vida considerado del producto finaliza con la entrega del mismo a otra organización para utilizarlo en la manufactura de otro producto.
- *Business to Customer*, cuando se considera el ciclo de vida completo del producto incluidas las actividades posteriores a la entrega del producto al usuario.

En el caso de la construcción el Ciclo de Vida corresponde al ciclo de vida completo *Business to Customer*.

La validez de los resultados del Análisis del Ciclo de Vida bajo la especificación PAS 2050 tiene una duración de dos años como máximo.

También especifica los requisitos para realizar la asignación de emisiones asociadas a:

- Generación de residuos.
- Utilización de energía.
- El transporte de los bienes (materias primas, productos), considerando las emisiones de los vehículos cuando regresan vacíos de su destino.
- Uso de materiales reciclados y reciclaje de los productos.

El cálculo de las emisiones considera cinco etapas:

1. Conversión de datos primarios y secundarios en emisiones de GEI.
2. Conversión de las emisiones a CO₂ equivalente.
3. Cálculo del carbono almacenado en el producto en CO₂ equivalente.
4. Cálculo de las emisiones de GEI por unidad funcional de producto (también en CO₂ equivalente).
5. Cálculo final de emisiones considerando materias primas o procesos menores que hayan sido excluidos del ACV.
6. Declaración de conformidad.

Finalmente se consideran tres métodos para realizar la declaración de conformidad con los requisitos de PAS 2050:

1. Certificación por tercera parte independientes acreditadas.
2. Verificación por otras partes.
3. Auto verificación. Usando el método ISO 14021 para ésta verificación y declaración.

4.3.1.1 Fuente de emisiones y análisis de unidades

Alcance de emisiones de GEI

La evaluación de GEI durante el ciclo de vida del producto deben incluir los gases listados en la Especificación PAS 2050: 2008.

Las emisiones de Potencial de Calentamiento Global (PCG) se miden en masa y se convierten en Dióxido de Carbono (CO₂) usando los coeficientes siguientes²⁷:

²⁷ SPECIFICATION PAS 2050: 2008 Specification for the Assessment of the life Cycle Greenhouse gas emissions of goods and services, Apendix A.

Designación industrial o nombre común	Fórmula química	Uso común	PCG ²⁸ para ciclo de 100 años
Dióxido de carbono	CO ₂		1
Metano	CH ₄		25
Óxido nitroso	N ₂ O		298
Sustancias controladas por el Protocolo de Montreal			
CFC-11	CCl ₃ F	Industria refrigeración	4750
CFC-12	CCl ₂ F ₂	Insecticidas aerosoles	10900
CFC-113	CCl ₂ FCClF ₂	Solvente para limpieza	6130
Halon-1301	CBrF ₃	Extinción incendios	7140
Halon-1211	CBrClF ₂	Extinción incendios	1890
Tetracloruro de carbono	CCl ₄	Disolvente, pinturas, farmacéutica	1400
Bromuro de metilo	CH ₃ Br	Esterilizante de suelos	5
Metil cloroformo	CH ₃ CCl ₃	Solvente para limpieza	146
HCFC-22	CHClF ₂	Agente de refrigeración	1810
Hidrofluorocarbonos			
HFC-23	CHF ₃	Gas refrigerante	14800
HFC-134a	CH ₂ FCF ₃	Agente de refrigeración, propelente	1430
HFC-152a	CH ₃ CHF ₂	Gas refrigerante	124
Compuestos de Perfluorinato (PFCs)			
Hexafluoruro de azufre	SF ₆	Industria electrónica	22800
Trifluoruro de nitrógeno	NF ₃	Industria electrónica	17200
PFC-14	CF ₄	Industria electrónica	7390
PFC-116	C ₂ F ₆	Industria electrónica	12200
Trifluorometilo pentafluoruro de azufre	SF ₅ CF ₃	Gas refrigerante	17700
Hidrocarbonos y otros compuestos con efectos directos			
Eter dimetílico	CH ₃ OCH ₃	Refrigerante, solvente	1

²⁸ PCG. Potencial de Calentamiento Global.

Cloruro de metileno	CH ₂ Cl ₂	Solvente, Industria fotográfica	8.7
Cloruro de metilo	CH ₃ Cl	Solvente, refrigerante	13

Tabla10. Coeficientes de Potencial de Calentamiento Global.

Período para la valorización de emisión de gases efecto invernadero (GEI)

La valorización del impacto de las emisiones de gases efecto invernadero se realiza por un período de 100 años siguiendo las fases del ciclo de vida de cada producto desde su inicio hasta su final, y es coincidente con el período de valorización exceptuando la fase de uso.

Fuentes de emisiones de GEI

La estimación puede incluir las emisiones de los procesos, entradas y salidas durante el ciclo de vida incluyendo:

- Uso de energía (incluyendo recursos energéticos como electricidad, que por sí mismos emiten GEI).
- Procesos de combustión.
- Reacciones químicas.
- Liberación de gases y refrigerantes.
- Operaciones.
- Servicios de suministro y entrega.
- Cambio de uso de suelo.
- Agricultura y ganadería.
- Desperdicios.

Unidad de análisis

La evaluación debe llevarse a cabo de forma que permita cuantificar la masa de CO₂e en unidades funcionales con dos cifras significativas.

Sistema de frontera

Las reglas siguientes definen los límites del sistema para la evaluación las emisiones de GEI del ciclo de vida.

Los productos manufacturados

Las emisiones resultantes de todos los procesos utilizados en la elaboración de un producto a través de transformar la materia prima deberán incluir, todas las fuentes de consumo energético y las emisiones directas de GEI a partir de la extracción de los minerales, la extracción de crudos (sólido, líquidos, petróleo y gas natural), incluidas las emisiones de la maquinaria, las de los bienes de consumo, así como la explotación y desarrollo de residuos generados en cada etapa.

Las materias primas tienen cero emisiones asociadas cuando no han pasado por ningún proceso de transformación externa (por ejemplo el mineral de hierro antes de ser extraído).

Energía

Las emisiones vinculadas con el suministro y el uso de la energía en el ciclo de vida se incluirán en las emisiones derivadas del sistema de suministro de energía

1. En el punto de consumo de la energía (quema de carbón y gas);
2. Derivadas de la prestación de energía incluyendo la generación de electricidad y calor
3. De los combustibles para el transporte.

Producción y prestación del servicio

Las emisiones de la prestación de servicios que se producen como parte del ciclo de vida, incluyendo las emisiones asociadas con el uso de consumibles se incluirán en la evaluación.

Donde se utiliza un proceso de manufactura de prototipos de un nuevo producto, las emisiones se asignarán al producto resultante.

Funcionamiento de locales

Las emisiones derivadas de la explotación de las instalaciones como fábricas, almacenes, oficinas, etc., se incluirán en la evaluación.

Operación incluye iluminación, calefacción, refrigeración, ventilación, control de humedad y otros controles ambientales en los locales. Un enfoque apropiado para la distribución de las emisiones derivadas de la operación, por ejemplo, almacenes, sería la de utilizar el tiempo de uso y el volumen de espacio ocupado por el producto.

Transporte

Las emisiones derivadas del transporte por carretera, aire, métodos de transporte de agua, ferrocarril u otros que formen parte del ciclo de vida del producto se incluirá en la evaluación.

Las emisiones procedentes de transporte incluyen las asociadas al transporte de combustibles (operación de oleoductos, redes de transmisión, etc.).

También se incluirán las derivadas del transporte asociados a los procesos individuales como movimiento de insumos productos y productos derivados en una fábrica (cintas, bandas).

Cuando los productos se distribuyen a diferentes puntos de venta, las emisiones asociadas al transporte varían de organización en organización debido a los requisitos que imponen. Cuando esto ocurre las empresas deben calcular el promedio de liberación de emisiones

Almacenamiento

Las emisiones relacionadas al almacenaje deben evaluarse incluyendo:

- a) El almacenamiento de insumos incluidas materias primas, en cualquier momento del ciclo de vida del producto.
- b) Controles ambientales (refrigeración, calefacción, control de humedad y otros), en relación con un producto en cualquier punto del ciclo de vida.
- c) El almacenamiento previo a las actividades de reutilización o reciclaje.

Fase de utilización

Las emisiones derivadas del uso de bienes o prestación de servicios se incluirán en la evaluación de las emisiones. El cálculo por el uso de energía se basará en los factores específicos de cada país, calculando la emisión anual promedio de la energía, a menos que pueda demostrarse que un factor de emisión diferente es más representativo de las características de uso de energía del producto.

Emisiones de la disposición final

Las emisiones derivadas de la disposición final (residuos en vertederos, incineración, residuos en fosos, aguas residuales), se incluirán en la evaluación.

Exclusiones

Los límites del sistema deberá excluir las emisiones asociadas con:

- Entradas de energía humana en los procesos y o pre- procesamientos (por ejemplo, si la cosecha se recoge a mano en lugar de maquina).
- El transporte de los consumidores hacia y desde el punto de venta.
- El transporte de los empleados hacia y desde su lugar habitual de trabajo y,
- Transporte por medio de animales.

Variabilidad en las emisiones

Si las emisiones durante el ciclo de vida varían con el tiempo, los datos se colectarán en un período de tiempo suficiente para establecer el promedio de emisiones asociadas con el ciclo de vida del producto.

4.4 *Análisis de huella de carbono de un edificio con Athena EcoCalculator v3.6*

4.4.1 *Objetivo*

En este estudio se ha analizado un edificio de vivienda con el programa *Athena EcoCalculator v3.6* que usa base de datos que proviene de varios sectores de la producción de materiales y de la construcción. Se presentan los aspectos positivos y negativos del cálculo de los efectos ambientales con este programa.

Complementando se utilizó el programa BEES v4.0 que es una herramienta de análisis del ciclo de vida que realiza la comparación los tipos de materiales de construcción involucrados en el diseño del proyecto. La interfaz del programa permite a los usuarios establecer porcentajes de ponderación de los aspectos ambientales y económicos como resultado ofrece una comparación entre productos del mismo tipo.

4.4.2 *Alcance*

El flujo de referencia para esta evaluación de ciclo de vida es la estructura de un edificio durante un período de vida de 60 años, que es un período de análisis que se utiliza en el programa utilizado; sin embargo en México se usa de forma convencional el período de 50 años (NTCDF 2004). La unidad funcional es el **área utilizable** para cada tipo de edificio. Los resultados se presentan por unidad de área en pies cuadrados.

Athena EcoCalculator v3.6 es un software de uso libre para la Evaluación del Ciclo de vida (ECV), es una herramienta que proporciona ayuda a los diseñadores para incorporar información sobre el panorama general de la huella del edificio. Utilizando elementos constructivos pre-definidos que ya han sido evaluados por la herramienta *Athena Impact Estimator* desarrollada por el Instituto Athena en asociación con la Universidad de Minnesota y Morrison Ingenieros Consultores Hershfield²⁹.

El software tiene dos versiones, una residencial y otra para edificios comerciales y utiliza los parámetros adaptados a la construcción estadounidense; sin embargo haciendo algunas consideraciones en cuanto sistemas constructivos se puede aplicar a nuestro país.

Los resultados tienen en cuenta todas las etapas del ciclo de vida: la extracción de materia prima y la transformación; fabricación de productos, en el sitio de la construcción, todo lo relacionado con el transporte, los ciclos de mantenimiento y renovación a través la vida del edificio de 60 años, la demolición del sistema estructural y el transporte a vertido de los materiales.

²⁹ <http://www.athenasmi.org/our-software-data/ecocalculator/>

Hay siete tipos de ensamblajes de construcción incluidos en el *EcoCalculator v3.6*:

1. Cimentación y zapatas
2. Vigas y columnas
3. Entrepisos
4. Muros exteriores
5. Ventanas
6. Muros interiores
7. Azotea.

Es importante tomar en cuenta que ésta herramienta mide los efectos ambientales de los materiales de construcción y sus procesos relacionados. No considera la energía del edificio en funcionamiento. Se compara cuantitativamente los diferentes materiales de construcción sólo por sus efectos ambientales, no por sus efectos sobre el uso de energía o su eficiencia.

Los efectos de los materiales usados en la construcción en el medio ambiente se basan en ocho **categorías de impacto** que son las siguientes:

- Consumo de combustibles fósiles.
- Uso de materia prima.
- Potencial de Calentamiento Global.
- Potencial de Acidificación.
- Potencial del efecto en salud respiratoria humana.
- Potencial de Eutrofización Acuática.
- Potencial de agotamiento del ozono.
- Potencial de contaminación fotoquímica.

4.4.3 Resultados.

Se muestran los impactos efectuados por cada tipo de elemento estructural, así como los impactos totales para todo el edificio. También se muestra el porcentaje que cada tipo de elemento contribuye a la total en forma numérica y gráfica.

Los acabados interiores y mobiliario no están incluidos en éste estudio.

4.4.4 Datos de entrada

Los datos de entrada para éste proyecto, se basan en las áreas funcionales del proyecto. El edificio está diseñado de acuerdo con los códigos de construcción aplicables en México, así como la práctica estándar de la industria.

Las distancias de transporte de los materiales de construcción se calculan entre el lugar de fabricación y el lugar de uso; éste parámetro ya está establecido en el software utilizado.

Las distancias para la extracción de materias primas y otras partes del proceso de fabricación se basan en los promedios nacionales o regionales (estadounidenses), y ya están incluidos en el cálculo del impacto global de cada material.

La energía de la fase de uso no se considera en este estudio.

A continuación se presentan los planos:

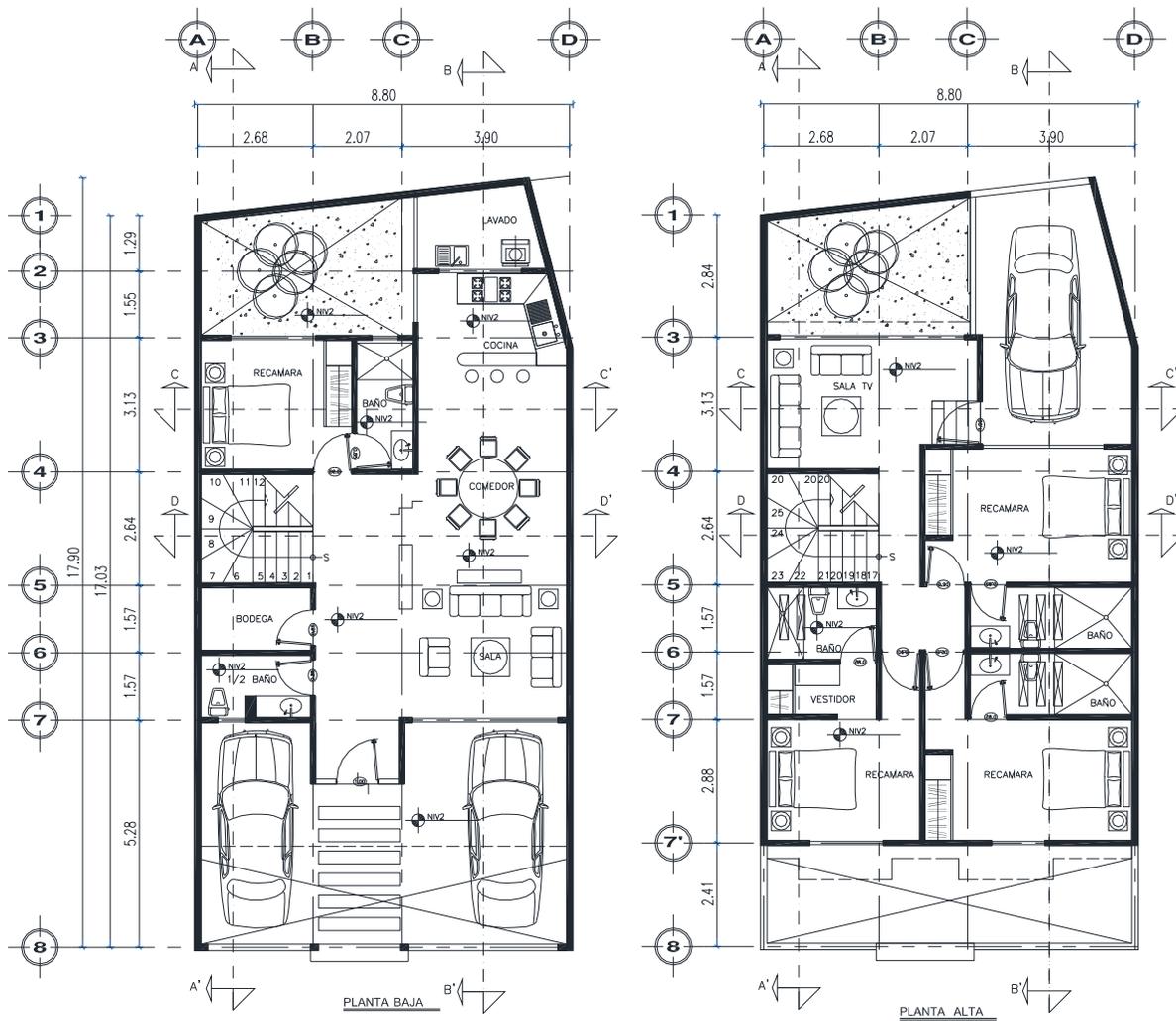


Figura 11. Plantas arquitectónicas (Dimensiones en metros).

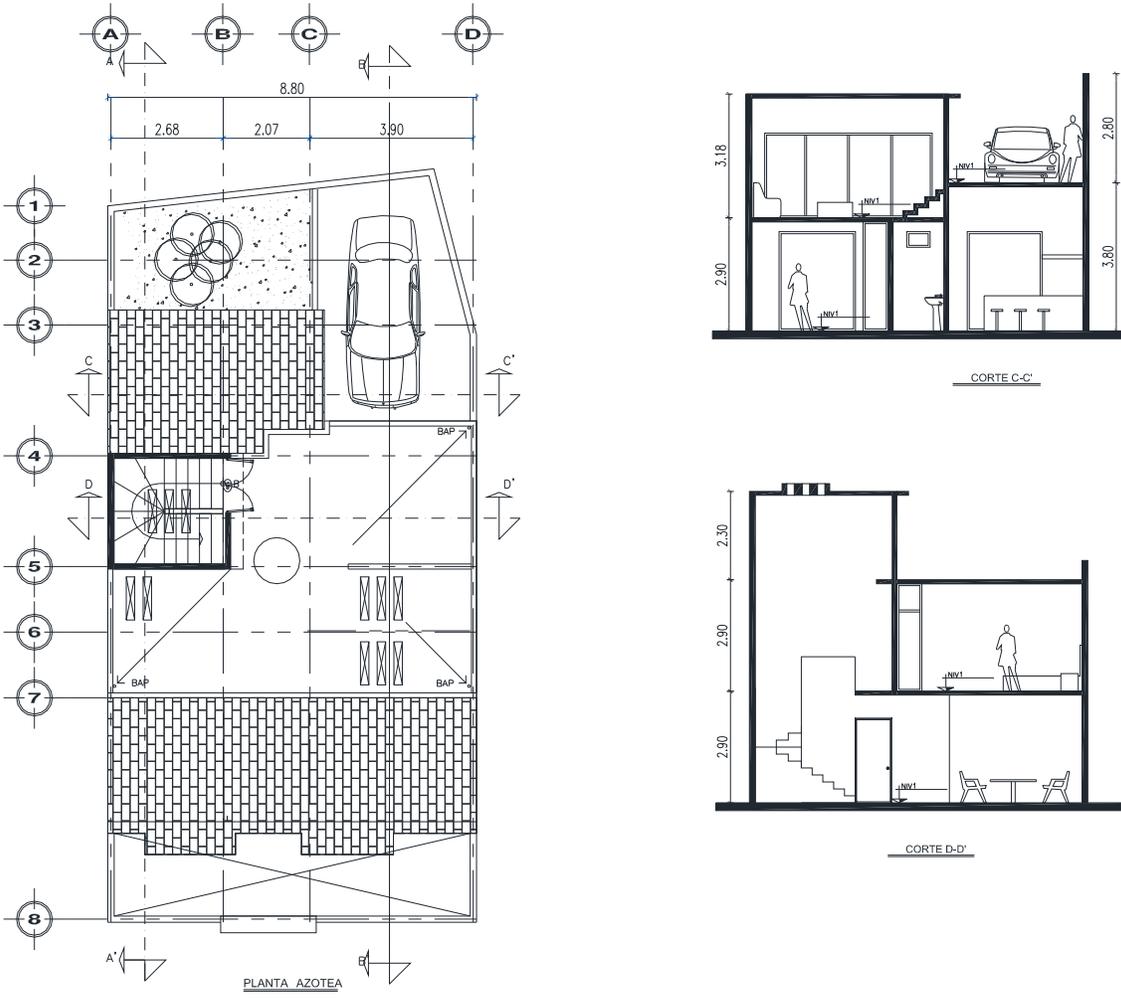
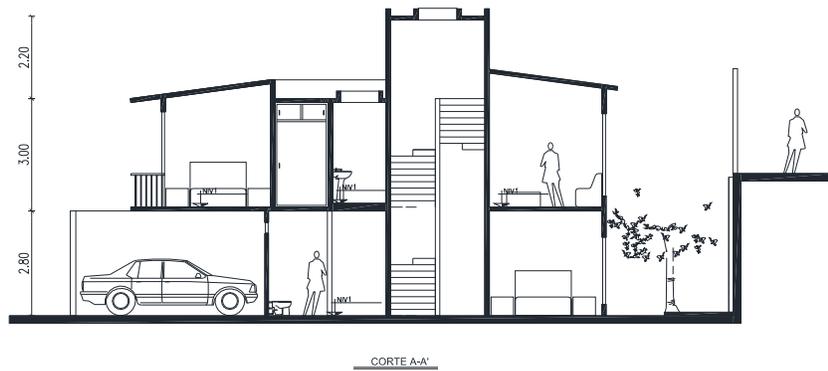


Figura 12. Azotea y cortes arquitectónicos.



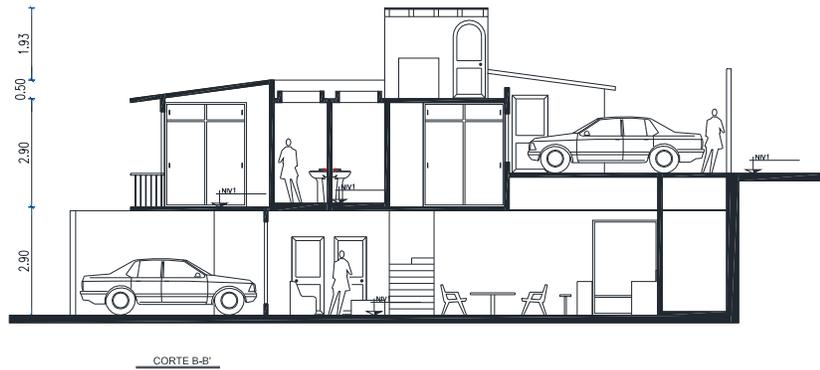


Figura 13. Cortes arquitectónicos.

Etiqueta de entrada	Figura de referencia	Nombre de referencia	Valor	Unidad
Foundation & Footings	Figura 14	Cast- in-place concrete	447.20	Pies cuadrados
Foundation & Footings	Figura 14	4" Poured concrete slab	1644.10	Pies cuadrados
Columns & Beams	Figura 15	Concrete column / Concrete beam	2183.50	Pies cuadrados
Intermediate Floors	Figura 16	Suspended concrete Slab	1008.50	Pies cuadrados
Exterior Walls³⁰	Figura 17	N/A	N/A	N/A
Windows	Figura 18	Aluminum	136.00	Pies cuadrados
Windows	Figura 18	Curtain viewable glazing	269.00	Pies cuadrados
Interior Walls	Figura 19	6" Concrete block 2 coats latex paint	3480.50	Pies cuadrados
Interior Walls	Figura 19	Clay brick (4") unpainted	2352.40	Pies cuadrados
Roofs	Figura 20	Modified bitumen membrane, suspended concrete slab latex paint	1078.20	Pies cuadrados

Tabla 11. Datos de entrada para Athena EcoCalculator v3.6.

Cimentación y zapatas. A base de losa de cimentación el ensamble que se consideró es concreto hecho en sitio. Losa de cimentación se divide en:

- Foundation wall: *Cast in place concrete*.
- Foundation slab: *Poured concrete slab*.

³⁰ Los muros exteriores (Exterior Walls) están incluidos en la etiqueta de muros interiores (Interior Walls).

TOTAL IMPACTS BY BUILDING COMPONENT		Fossil Fuel Consumption (MJ) TOTAL	Weighted Resource Use (tonnes) TOTAL	GWP (tonnes CO2eq) TOTAL	Acidification Potential (moles of H+ eq) TOTAL	HH Respiratory Effects Potential (kg PM2.5 eq) TOTAL	Eutrophication Potential (g N eq) TOTAL	Ozone Depletion Potential (mg CFC-11 eq) TOTAL	Smog Potential (kg NOx eq) TOTAL
FOUNDATIONS & FOOTINGS		85,080	77	11	3,725	25	2,324	32	37
WHOLE BUILDING TOTAL		2,142,469	591	170	64,432	475	57,291	276	559

ASSEMBLY TYPE	Square footage	Percentage of total	Fossil Fuel Consumption per ft2 (MJ)	Weighted Resource Use per ft2 (kg)	Global Warming Potential per ft2 (kg CO2 eq)	Acidification Potential per ft2 (moles of H+ eq)	HH Respiratory Effects Potential per ft2 (g PM2.5 eq)	Eutrophication Potential per ft2 (mg N eq)	Ozone Depletion Potential per ft2 (mg CFC-11 eq)	Smog Potential per ft2 (g NOx eq)
FOUNDATION WALL										
1 Cast-in-place concrete	447.2	100%	75.44	61.12	9.06	3.11	20.37	2427	0.03	30.97
2 Concrete block	0.0		374.31	52.94	26.87	7.21	39.65	13274	0.03	62.15
TOTAL FOUNDATION WALL SQUARE FOOTAGE		447.2								
FOUNDATION SLAB										
4" Poured Concrete slab	1,644.1	100%	31.23	30.10	4.26	1.42	9.67	733	0.01	14.22
TOTAL FOUNDATION SLAB SQUARE FOOTAGE		1,644.1								
FOOTING										
(Note: Please enter volume of concrete in cubic yards)		Concrete volume (yd3)								
Poured Concrete footing	0.0		3227.19	2422.67	363.60	124.23	826.39	118357	1.00	1123.99
FOOTING TOTAL VOLUME (CUBIC YARDS OF CONCRETE)		0.0								

Figura 14. Captura de pantalla de la interfaz para “Cimentación y zapatas” de Athena EcoCalculator v3.6.

Vigas y columnas. Se consideró un sistema estructural a base de columnas y trabes de concreto.

- Column / beam: Concrete column / Concrete beam.

TOTAL IMPACTS BY BUILDING COMPONENT		Fossil Fuel Consumption (MJ) TOTAL	Weighted Resource Use (tonnes) TOTAL	GWP (tonnes CO2eq) TOTAL	Acidification Potential (moles of H+ eq) TOTAL	HH Respiratory Effects Potential (kg PM2.5 eq) TOTAL	Eutrophication Potential (g N eq) TOTAL	Ozone Depletion Potential (mg CFC-11 eq) TOTAL	Smog Potential (kg NOx eq) TOTAL
COLUMNS & BEAMS		229,582	88	18	6,566	39	12,125	36	54
WHOLE BUILDING TOTAL		2,142,469	591	170	64,432	475	57,291	276	559

ASSEMBLY TYPE	Square footage	Percentage of total	Fossil Fuel Consumption per ft2 (MJ)	Weighted Resource Use per ft2 (kg)	Global Warming Potential per ft2 (kg CO2 eq)	Acidification Potential per ft2 (moles of H+ eq)	HH Respiratory Effects Potential per ft2 (g PM2.5 eq)	Eutrophication Potential per ft2 (mg N eq)	Ozone Depletion Potential per ft2 (mg CFC-11 eq)	Smog Potential per ft2 (g NOx eq)
Average across all column and beam systems:										
METHOD 1 (ASSUMES NON-LOAD-BEARING EXTERIOR WALL)			31.99	7.75	1.83	0.69	3.63	1513	0.00	6.47
1 Concrete column / Concrete beam	2,183.5	100%	105.14	40.28	8.29	3.01	17.69	5553	0.02	24.60
2 Concrete column / Glulam beam	0.0		57.17	17.04	3.58	1.33	7.52	2607	0.00	15.33
3 Concrete column / LVL beam	0.0		57.32	17.98	3.68	1.36	7.22	2734	0.00	11.57
4 Concrete column / WF beam	0.0		91.69	15.87	5.26	2.06	10.48	5567	0.00	13.77
5 Glulam column / Glulam beam	0.0		16.45	5.30	0.78	0.29	1.74	263	0.00	7.19
6 Glulam column / LVL beam	0.0		16.60	6.24	0.87	0.31	1.44	387	0.00	3.42
7 Glulam column / WF beam	0.0		50.97	4.13	2.46	1.01	4.69	3213	0.00	5.61
8 HSS column / Glulam beam	0.0		20.09	5.70	0.97	0.37	2.10	383	0.00	7.47
9 HSS column / LVL beam	0.0		20.24	6.64	1.07	0.39	1.80	507	0.00	3.71
10 HSS column / WF beam	0.0		54.61	4.53	2.65	1.09	5.06	3343	0.00	5.91
11 LVL column / Glulam beam	0.0		16.46	5.32	0.78	0.29	1.73	263	0.00	7.09
12 LVL column / LVL beam	0.0		16.61	6.26	0.88	0.31	1.43	393	0.00	3.32
13 Softwood column / Glulam beam	0.0		16.38	5.35	0.78	0.29	1.72	268	0.00	7.11
14 Softwood column / LVL beam	0.0		16.53	6.29	0.88	0.31	1.42	395	0.00	3.34
15 WF column / Glulam beam	0.0		18.88	5.39	0.90	0.33	1.95	432	0.00	7.30
16 WF column / LVL beam	0.0		10.03	6.33	0.90	0.36	1.65	553	0.00	3.53

Figura 15. Captura de pantalla de la interfaz para “Columnas y vigas” de Athena EcoCalculator v3.6.

Entrepisos. Se consideró un entrepiso de losa maciza de concreto armado.

- Floor structure: Suspended concrete slab.

TOTAL IMPACTS BY BUILDING COMPONENT		Fossil Fuel Consumption (MJ) TOTAL	Weighted Resource Use (tonnes) TOTAL	GWP (tonnes CO2eq) TOTAL	Acidification Potential (moles of H+ eq) TOTAL	HH Respiratory Effects Potential (kg PM2.5 eq) TOTAL	Eutrophication Potential (g N eq) TOTAL	Ozone Depletion Potential (mg CFC-11 eq) TOTAL	Smog Potential (kg NOx eq) TOTAL
INTERMEDIATE FLOORS		138,807	95	15	5,127	36	4,419	39	49
WHOLE BUILDING TOTAL		2,142,469	591	170	64,432	475	57,291	276	559

Floor Structure	Interior Ceiling Finish	Square footage	Percentage of total	Fossil Fuel Consumption per ft ² (MJ)	Weighted Resource Use per ft ² (kg)	Global Warming Potential per ft ² (kg CO2 eq)	Acidification Potential per ft ² (moles of H+ eq)	HH Respiratory Effects Potential per ft ² (g PM2.5 eq)	Eutrophication Potential per ft ² (mg N eq)	Ozone Depletion Potential per ft ² (mg CFC-11 eq)	Smog Potential per ft ² (g NOx eq)
Average across all intermediate floor assemblies:				55.20	24.25	4.65	1.63	10.60	1853	0.01	17.16
14	Wood Truss	none	0.0	20.58	10.73	1.41	0.47	1.82	828	0.00	5.86
15	Glulam	gypsum board; latex paint	0.0	48.63	17.92	2.53	0.96	7.86	1001	0.00	17.59
16	Precast Hollowcore	gypsum board; latex paint	0.0	66.55	42.33	7.06	3.02	19.98	2356	0.02	39.88
17	Wood I-joist	gypsum board; latex paint	0.0	31.71	9.86	1.59	1.25	7.76	1395	0.00	22.72
18	Open-web Steel Joist	gypsum board; latex paint	0.0	68.41	7.46	3.95	1.34	9.49	2400	0.00	7.87
19	Open-web Steel Joist w/ concrete topping	gypsum board; latex paint	0.0	85.92	29.33	6.14	2.07	14.88	2837	0.01	14.91
20	Precast Double-T	gypsum board; latex paint	0.0	55.65	32.07	6.04	2.12	16.77	1259	0.02	23.77
21	Precast Double-T w/ concrete topping	gypsum board; latex paint	0.0	73.01	47.62	8.43	2.90	22.22	1735	0.02	30.69
22	Steel Joist	gypsum board; latex paint	0.0	75.49	7.96	4.99	1.42	9.32	2688	0.00	9.23
23	Steel Joist w/ plywood decking	gypsum board; latex paint	0.0	78.30	10.06	5.14	1.46	9.64	2791	0.00	10.09
24	Suspended Concrete Slab	gypsum board; latex paint	1,008.5	137.64	94.00	14.64	5.08	36.04	4382	0.04	48.88
25	Wood Joist	gypsum board; latex paint	0.0	33.34	11.87	1.86	0.72	6.51	687	0.00	7.61
26	Wood Joist w/ plywood decking	gypsum board; latex paint	0.0	37.79	15.18	2.10	0.80	7.01	850	0.00	8.97
27	Wood Chord and Steel Web truss	gypsum board; latex paint	0.0	53.64	13.52	3.41	1.03	7.77	1467	0.00	9.36
28	Wood Truss	gypsum board; latex paint	0.0	36.24	12.47	2.10	0.78	6.60	950	0.00	8.72
TOTAL SQUARE FOOTAGE		1,008.5									

Figura 16. Captura de pantalla de la interfaz para “Entrepisos” de Athena EcoCalculator v3.6.

Muros exteriores. Éste ensamble no se tomó en cuenta debido a que las características de los materiales no se asemejan a los sistemas utilizados en México. Los muros exteriores se consideraron en el apartado de Muros interiores.

ATHENA® EcoCalculator for commercial assemblies		TOTAL IMPACTS BY BUILDING COMPONENT		Fossil Fuel Consumption (MJ) TOTAL	Weighted Resource Use (tonnes) TOTAL	GWP (tonnes CO2eq) TOTAL	Acidification Potential (moles of H+ eq) TOTAL	HH Respiratory Effects Potential (kg PM2.5 eq) TOTAL	Eutrophication Potential (g N eq) TOTAL	Ozone Depletion Potential (mg CFC-11 eq) TOTAL	Smog Potential (kg NOx eq) TOTAL
		EXTERIOR WALLS		0	0	0	0	0	0	0	0
		WHOLE BUILDING TOTAL		2,142,469	591	170	64,432	475	57,291	276	559

Wall Type	Square footage	Percentage of total	Fossil Fuel Consumption per ft2 (MJ)	Weighted Resource Use per ft2 (kg)	Global Warming Potential per ft2 (kg CO2 eq)	Acidification Potential per ft2 (moles of H+ eq)	HH Respiratory Effects Potential per ft2 (g PM2.5 eq)	Eutrophication Potential per ft2 (mg N eq)	Ozone Depletion Potential per ft2 (mg CFC-11 eq)	Smog Potential per ft2 (g NOx eq)
Average across exterior wall assemblies:			225.01	52.55	16.04	6.14	48.29	5490	0.03	70.12
8" CONCRETE BLOCK			482.85	73.35	33.92	10.05	69.42	13779	0.05	106.70
1 Brick cladding										
Concrete Block										
Continuous insulation + Polyethylene membrane			421.62	70.13	30.54	9.30	47.16	12352	0.03	89.55
2 Steel cladding										
Concrete Block										
Continuous insulation + Polyethylene membrane	0.0		527.32	66.57	39.21	12.48	67.01	17021	0.10	110.32
3 Stucco cladding										
Concrete Block										
Continuous insulation + Polyethylene membrane	0.0		411.22	61.37	29.94	8.22	45.21	12449	0.03	91.45
4 EIFS										
Concrete Block										
Polyethylene membrane	0.0		639.78	71.54	36.76	11.04	139.14	13416	0.03	153.23
5 Precast concrete cladding										
Concrete Block										
Continuous insulation + Polyethylene membrane	0.0		462.17	110.94	36.90	10.75	61.23	14724	0.05	109.51

Figura 17. Captura de pantalla de la interfaz para “Muros Exteriores” de Athena EcoCalculator v3.6.

Ventanas. Se consideraron ventanas de aluminio.

- Windows: Aluminum; curtain wall viewable glazing.

ATHENA® EcoCalculator for commercial assemblies		TOTAL IMPACTS BY BUILDING COMPONENT		Fossil Fuel Consumption (MJ) TOTAL	Weighted Resource Use (tonnes) TOTAL	GWP (tonnes CO2eq) TOTAL	Acidification Potential (moles of H+ eq) TOTAL	HH Respiratory Effects Potential (kg PM2.5 eq) TOTAL	Eutrophication Potential (g N eq) TOTAL	Ozone Depletion Potential (mg CFC-11 eq) TOTAL	Smog Potential (kg NOx eq) TOTAL
		WINDOWS		147,936	14	15	15,835	170	4,595	26	95
		WHOLE BUILDING TOTAL		2,142,469	591	170	64,432	475	57,291	276	559

FRAME TYPE (All windows assume double-pane, Low-E, Argon-filled glazing)	Square footage	Percentage of total	Fossil Fuel Consumption per ft2 (MJ)	Weighted Resource Use per ft2 (kg)	Global Warming Potential per ft2 (kg CO2 eq)	Acidification Potential per ft2 (moles of H+ eq)	HH Respiratory Effects Potential per ft2 (g PM2.5 eq)	Eutrophication Potential per ft2 (mg N eq)	Ozone Depletion Potential per ft2 (mg CFC-11 eq)	Smog Potential per ft2 (g NOx eq)
Average across all window types:			352.14	40.54	33.20	30.67	333.2899	10434	0.0802	188.1971
1 Aluminum	136.0	34%	592.78	44.88	50.95	68.87	572.76	15753	0.13	344.74
2 Vinyl-clad Wood	0.0		271.19	45.22	25.41	18.91	239.28	8404	0.06	134.72
3 Vinyl	0.0		373.61	33.35	31.68	21.63	253.35	9949	0.15	137.03
4 Wood	0.0		272.88	48.66	26.59	19.89	258.71	8949	0.03	144.88
5 Curtainwall viewable glazing	269.0	66%	250.25	30.56	31.39	24.05	342.34	9116	0.03	179.62
TOTAL WINDOW SQUARE FOOTAGE	405.0									

Figura 18. Captura de pantalla de la interfaz para “Ventanas” de Athena EcoCalculator v3.6.

Muros interiores. Los muros interiores se consideraron de tabique y sin pintura, y los muros exteriores con dos capas de pintura y bloques de concreto.

- Interior walls: Concrete block, clay brick.

TOTAL IMPACTS BY BUILDING COMPONENT		Fossil Fuel Consumption (MJ) TOTAL	Weighted Resource Use (tonnes) TOTAL	GWP (tonnes CO2eq) TOTAL	Acidification Potential (moles of H+ eq) TOTAL	HH Respiratory Effects Potential (kg PM2.5 eq) TOTAL	Eutrophication Potential (g N eq) TOTAL	Ozone Depletion Potential (mg CFC-11 eq) TOTAL	Smog Potential (kg NOx eq) TOTAL
INTERIOR WALLS		1,200,776	209	91	25,305	156	28,347	100	223
WHOLE BUILDING TOTAL		2,142,469	591	170	64,432	475	57,291	276	539

ASSEMBLY TYPE (gypsum and paint are on BOTH SIDES of the interior walls)	Square footage	Percentage of total	Fossil Fuel Consumption per ft ² (MJ)	Weighted Resource Use per ft ² (kg)	Global Warming Potential per ft ² (kg CO2 eq)	Acidification Potential per ft ² (moles of H+ eq)	HH Respiratory Effects Potential per ft ² (g PM2.5 eq)	Eutrophication Potential per ft ² (mg N eq)	Ozone Depletion Potential per ft ² (mg CFC-11 eq)	Smog Potential per ft ² (g NOx eq)
Average across interior walls:										
			103.90	16.72	7.15	2.17	17.36	2152	0.01	19.10
2x4 Woodstud wall 24" o.c. 5/8" Gypsum board + 2 coats Latex paint	0.0		34.24	5.1889	1.59	0.69	9.79	372	0.00	6.71
2x4 Woodstud wall 24" o.c. 2 x 5/8" Gypsum board + 2 coats Latex paint	0.0		49.09	7.7882	2.52	1.15	12.97	529	0.00	9.74
1-5/8" x 3-5/8" Steel stud 16" o.c. 5/8" Gypsum board + 2 coats Latex paint	0.0		40.48	4.4033	2.04	0.80	10.27	630	0.00	6.73
1-5/8" x 3-5/8" Steel stud 24" o.c. 5/8" Gypsum board + 2 coats Latex paint	0.0		38.25	4.1724	1.88	0.75	10.10	533	0.00	6.49
1-5/8" x 3-5/8" Steel stud 24" o.c. 2 x 5/8" Gypsum board + 2 coats Latex paint	0.0		53.10	6.7717	2.81	1.21	13.29	690	0.00	9.51
6" Concrete block 5/8" Gypsum board + 2 coats Latex paint			321.22	50.3712	24.45	6.25	42.41	7817	0.03	56.83
6" Concrete block 2 coats Latex paint	3,480.5	60%	306.37	47.7719	23.52	5.79	39.22	7660	0.03	53.81
Clay brick (4") unpainted	2,352.4	40%	57.16	18.29	3.93	2.19	8.35	717	0.00	15.33
TOTAL INTERIOR WALL SQUARE FOOTAGE		5,332.9								

Figura 19. Captura de pantalla de la interfaz para “Muros Interiores” de Athena EcoCalculator v3.6.

Azotea. En la azotea se supone una capa de membrana de aislamiento, losa de concreto armado, y acabado de pintura.

- Roof: Modified bitumen membrane.

TOTAL IMPACTS BY BUILDING COMPONENT		Fossil Fuel Consumption (MJ) TOTAL	Weighted Resource Use (tonnes) TOTAL	GWP (tonnes CO2eq) TOTAL	Acidification Potential (moles of H+ eq) TOTAL	HH Respiratory Effects Potential (kg PM2.5 eq) TOTAL	Eutrophication Potential (g N eq) TOTAL	Ozone Depletion Potential (mg CFC-11 eq) TOTAL	Smog Potential (kg NOx eq) TOTAL
ROOF		340,288	103	20	7,874	49	5,480	43	101
WHOLE BUILDING		2,142,469	591	170	64,432	475	57,291	276	559

ASSEMBLY TYPE	Square footage	Percentage of total	Fossil Fuel Consumption per ft2 (MJ)	Weighted Resource Use per ft2 (kg)	Global Warming Potential per ft2 (kg CO2 eq)	Acidification Potential per ft2 (moles of H+ eq)	HH Respiratory Effects Potential per ft2 (g PM2.5 eq)	Eutrophication Potential per ft2 (mg N eq)	Ozone Depletion Potential per ft2 (mg CFC-11 eq)	Smog Potential per ft2 (g NOx eq)
Average across all roof types:			238.41	29.63	10.90	5.23	28.65	2866	0.01	65.94
Latex paint	0.0		344.87	101.31	22.23	11.18	52.63	5593	0.04	97.99
13 Modified bitumen membrane R-2C Continuous insulation + Polyethylene membrane Suspended concrete slab Latex paint	1,078.2	100%	315.61	100.33	18.44	7.30	45.16	5083	0.04	93.68
14 4-ply built-up roofing system R-2C Continuous insulation + Polyethylene membrane Suspended concrete slab Latex paint	0.0		541.62	114.44	32.07	13.39	87.38	7432	0.04	143.06
15 Steel roofing system R-2C Continuous insulation + Polyethylene membrane Suspended concrete slab Latex paint	0.0		188.16	98.23	17.27	5.98	39.28	5213	0.04	88.67

Figura 20. Captura de pantalla de la interfaz para “Azotea” de Athena EcoCalculator v3.6.

4.4.5 Datos de salida

Resumen. A continuación se muestran los resultados numéricos y gráficos del impacto que el edificio analizado tendría en el medio ambiente.

ASSEMBLY	Total area	Fossil Fuel Consumption (MJ) TOTAL	Weighted Resource Use (tonnes) TOTAL	GWP (tonnes CO2eq) TOTAL	Acidification Potential (moles of H+ eq) TOTAL	HH Respiratory Effects Potential (kg PM2.5 eq) TOTAL	Eutrophication Potential (g N eq) TOTAL	Ozone Depletion Potential (mg CFC-11 eq) TOTAL	Smog Potential (kg NOx eq) TOTAL
9 Foundations & Footings	2,091	85,080	77	11	3,725	25	2,324	32	37
10 Columns & Beams	2,184	229,582	88	18	6,566	39	12,126	36	54
11 Intermediate Floors	1,008	138,807	95	15	5,127	36	4,419	39	49
12 Exterior Walls	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13 Windows	405	147,936	14	15	15,835	170	4,595	26	95
14 Interior Walls	5,833	1,200,776	209	91	25,305	156	28,347	100	223
15 Roof	1,078	340,288	108	20	7,874	49	5,480	43	101
TOTALS		2,142,469	591	170	64,432	475	57,291	276	559

Figura 21. Captura de pantalla del “Resumen de Impacto Ambiental” de Athena EcoCalculator v3.6

Consumo de combustibles fósiles.

Se observa que la utilización del concreto genera un poco más de la mitad del consumo de recursos fósiles en el edificio analizado. Incluso la utilización de muros de mampostería como se consideró en éste estudio genera un gran impacto en el ambiente. El concepto más significativo es el de *Muros exteriores* en amarillo (Figura 22).

Potencial de calentamiento global.

Debido a la relación en la utilización de recursos fósiles y los GEI en ésta gráfica se puede denotar que el concepto de *Muros exteriores* en amarillo arroja más de la mitad de las emisiones con potencial de calentamiento global. En segundo lugar el concepto de *Azotea* que cómo se mencionó anteriormente la utilización de concreto genera los mayores impactos ambientales (Figura 22).

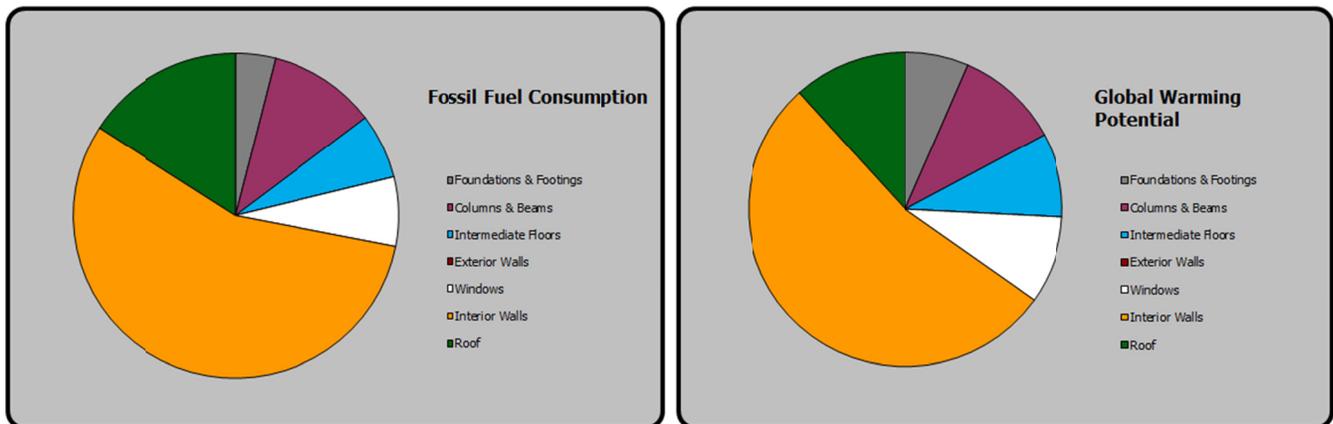


Figura 22. Captura de gráfico “Consumo de energía y Potencial de Calentamiento Global” de Athena EcoCalculator v3.6

Uso de materia prima.

Debido al uso de material virgen para la elaboración del concreto los conceptos más destacados son *Muros*, *azotea* y *entrepiso* en amarillo verde y azul respectivamente (Figura 23).

Potencial de acidificación.

Debido a que las principales emisiones aparte del CO₂ en la elaboración de cemento y productos de vidrio son el NO_x y el SO_x, los conceptos de *Muros interiores* y *ventanas* figuran como las principales fuentes de Acidificación (Figura 23).

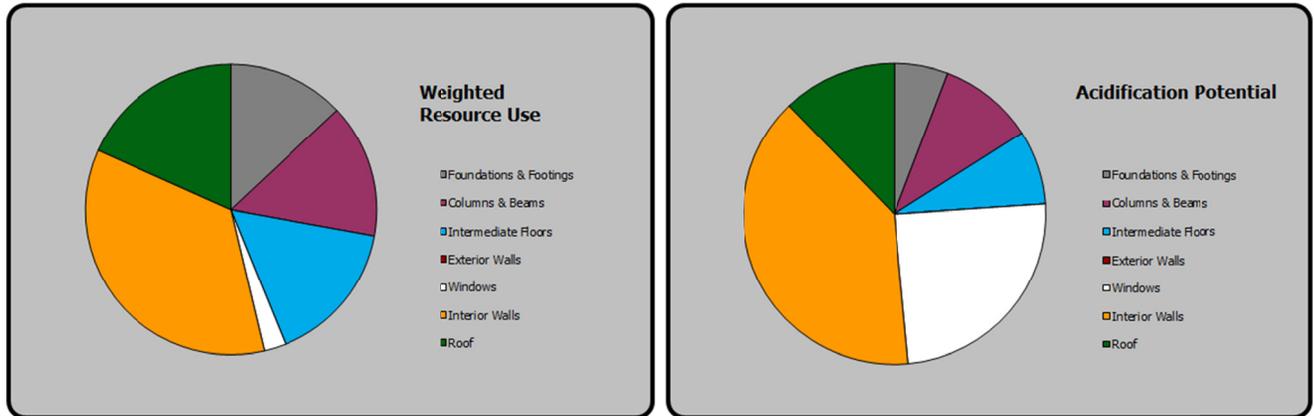


Figura 23. Captura de grafico “Uso de materia prima y Potencial de acidificación” de Athena EcoCalculator v3.6

Potencial de agotamiento del ozono.

La industria del cemento es una de las que generan mayor cantidad de sustancias que agotan la capa de ozono, estas sustancias son básicamente Clorofluorocarbonos (CFC), Hidroclorofluorocarbonos (HCFC), Halones e Hidrobromofluorocarbonos (HBFC). Por ésta razón los conceptos de *Muros interiores*, *azotea* y *entrepiso* en amarillo, verde y azul respectivamente son los más desfavorables al medio ambiente (Figura 24).

Potencial de contaminación.

De la misma forma que las categorías anteriores podemos denotar que el concepto de *Muros interiores* de mampostería y concreto además del concepto de Ventanas son los más contaminantes (Figura 24).

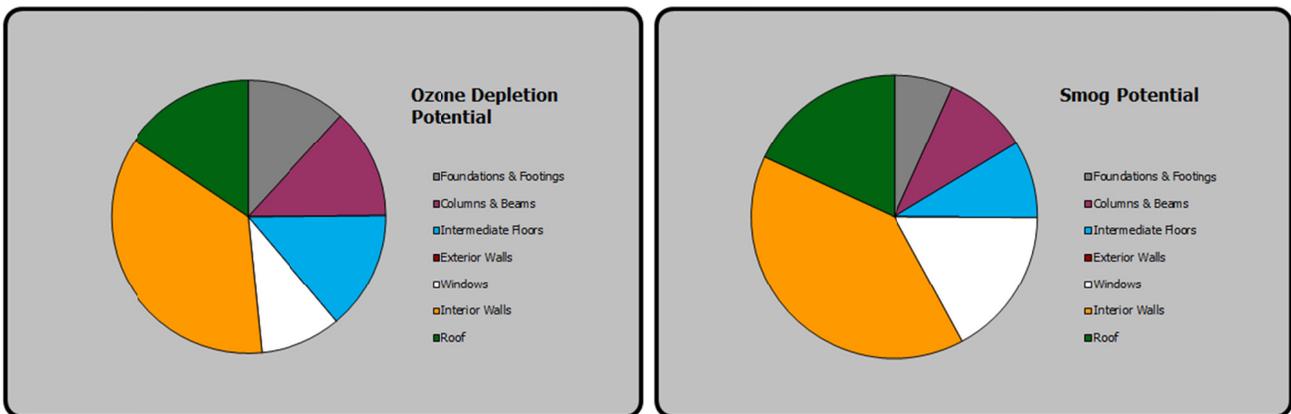


Figura 24. Captura de grafico “Potencial de agotamiento de ozono y Potencial de contaminación” de Athena EcoCalculator v3.6.

Potencial del efecto en salud respiratoria humana.

En ésta etiqueta la industria del vidrio tiene mayor impacto debido a las emisiones que generan, el concepto *ventanas* en blanco es el de mayor consideración (Figura 25).

Potencial de Eutrofización Acuática.

Debido a las sustancias que emite la industria del cemento el concepto de *Muros interiores* que como ya mencionamos anteriormente está compuesto por muros de mampostería y muros de concreto son los que tienen la mayor huella ambiental (Figura 25).

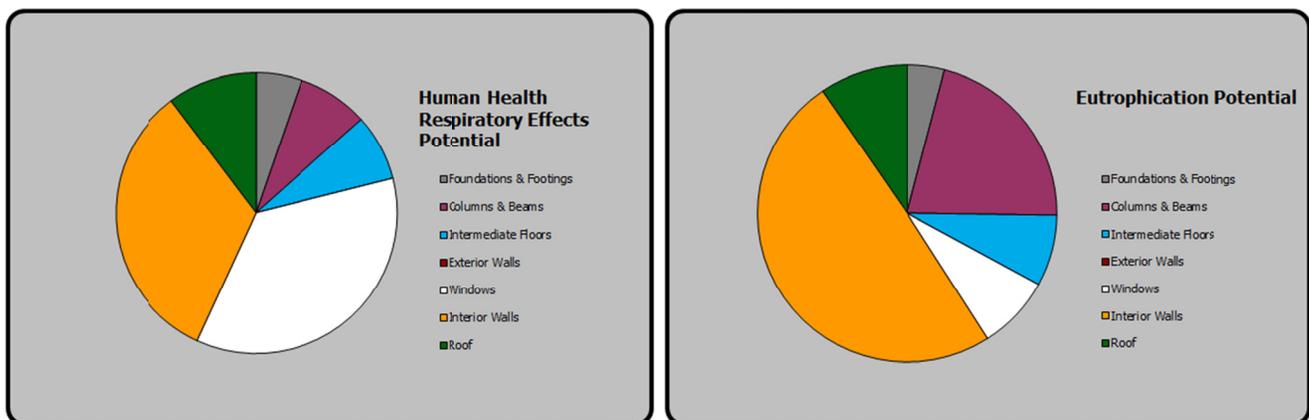


Figura 25. Captura de grafico “Potencial del efecto en salud respiratoria humana y Potencial de Eutrofización” de Athena EcoCalculator v3.6

4.4.6 Interpretación

El paso final del ACV es la interpretación de los resultados. Gran parte de la validación de datos se realiza en esta etapa, cuando el modelo se compara con otros análisis. Esto crea un proceso iterativo en el que se discuten los resultados, modificando los datos, y el impacto del sistema re-evaluado. En ésta fase se plantean materiales que se puedan cambiar en el proyecto para disminuir su impacto en el sistema conjunto.

En el caso que se presenta en éste trabajo se observa claramente cómo el mayor impacto lo generan los conceptos donde el concreto es parte fundamental de los elementos constructivos, en general **el uso del concreto afecta a todas las categorías de impacto** que se evalúan en Athena EcoCalculator v 3.6.

Por ésta razón la cuidadosa **selección de los materiales y la eficiencia en su utilización** juegan un papel importante en la huella de carbono de una edificación.

5.1.1.1 Transparencia

Un objetivo adicional a este estudio es ser transparente para permitir a otros repetir el estudio actual y sentar un precedente para el ACV en la industria de la construcción.

Los diseñadores y constructores podrán obtener una visión amplia de las consecuencias ambientales de edificio que están diseñando.

La utilización de herramientas como programas de cálculo de impacto ambiental en la edificación es muy útil en las primeras fases del proyecto arquitectónico pues es en ésta fase donde se proponen los sistemas constructivos y por lo tanto los materiales que se utilizarán. Ésta herramienta permite evaluar el desempeño medio ambiental de diferentes materiales.

Conclusión: Es necesario considerar la Huella de Carbono como herramienta de amortiguamiento pues conociendo la cantidad de emisiones y su origen se pueden tomar las decisiones para reducirlas.

La evaluación de las emisiones de gases de efecto invernadero pueden realizarse utilizando técnicas de Análisis del Ciclo de Vida, que permite evaluar los aspectos medioambientales y los potenciales impactos de la construcción.

5 CONCLUSIONES

Una de las grandes diferencias entre la normatividad de las naciones más avanzadas en cuestión de la reducción de los RCD y la nuestra, es la obligatoriedad del constructor, o productor de residuos, de incluir en los proyectos un Plan de Gestión de RCD, y la aplicación de incentivos al reciclado reflejado en la reducción del impuesto por los derechos de construcción.

Respecto al manejo de residuos de la construcción y demolición (RCD) podemos concluir lo siguiente:

- Es elemental una integración de la normativa a nivel federal que contribuya a establecer las estrategias para la revalorización y reutilización de los RCD, así como los instrumentos regulatorios tanto estatales como municipales para lograr el acatamiento de ésta normativa.
- Es fundamental la participación activa de las empresas constructoras pues de éstas depende la clasificación en la fuente y el correcto almacenamiento y manejo del material ya caracterizado.
- Incentivar la creación de empresas recicladoras que trabajen con las constructoras llevando a cabo la recolección y aprovechamiento de los RCD.

Respecto a la normatividad mexicana como la “Ley General del Cambio Climático, 2012” que pretende desarrollar políticas y herramientas para promover la mitigación de emisiones relacionadas con la planeación, construcción de viviendas, construcción y operación de edificios, comercios e industrias, podemos decir que es un paso inicial para cuantificar y determinar la huella de carbono, por lo que el estudio y conocimiento de las metodologías para su determinación serán la base para ése fin.

Se plantea el apoyo hacia la homogeneización de medidas y normativas a nivel nacional que respalden el consumo y producción sostenible principalmente en los aspectos siguientes:

- Determinar estándares y metodologías para la evaluación de emisiones de los GEI, con base en los avances logrados en países desarrollados.
- Reforzar la información al consumidor (constructor, proyectista, cliente, etc.) mediante las eco-etiquetas, con certificado de carbono de los materiales de construcción.
- Reforzar la comunicación e información en general (a los consumidores, empresas y productores) sobre la normativa.
- Incentivar la producción y comercialización de tecnologías que ayuden a reducir el impacto de la industria de la construcción.

- Analizar herramientas de incentivo económico (bonificación / multas, impuestos) al uso de tecnologías y herramientas para disminuir las emisiones en la construcción.

Con el ACV de los edificios se puede obtener información sobre cada etapa de vida, analizando para categoría el impacto para conocer en gran medida el desempeño ambiental de cada material.

Es importante destacar que el proyecto debe estar concebido con criterios de sustentabilidad desde su estructura, construcción y aspecto funcional. Los siguientes aspectos deben considerarse:

- La selección del sistema estructural.
 - La selección de los materiales constructivos
 - El posible reciclaje y reutilización de los componentes al concluir la vida útil del edificio.

Es necesario considerar que durante la fase de diseño de una edificación se debe conocer las etiquetas ambientales de los materiales para posteriormente ingresar datos a las herramientas que revisamos en éste trabajo y poder analizar de forma integral la huella ambiental que generara el edificio.

De este estudio se concluye también lo siguiente:

- Actualmente no existe una sola metodología de diseño sustentable que pueda abarcar todas las categorías de impacto ambiental.
- El tipo de construcción y el tamaño del proyecto puede tener un impacto significativo sobre el desempeño ambiental.
- El programa de análisis utilizado (Athena EcoCalculator v3.6) no se ajusta a todas las necesidades de los proyectos en la evaluación de alternativas de diseño.
- Aunque el uso del programa puede dar indicios sobre la relación entre el consumo de energía y tipo de elementos estructurales del sistema está limitado por sus métodos de análisis internos y sus definiciones.
- La sustentabilidad plantea retos tecnológicos y técnicos. Con la optimización de procesos y la necesidad de equilibrar la ecuación:

Recursos consumidos / impactos producidos

- Es necesario cambiar el paradigma dónde se considera a la funcionalidad, la seguridad, la durabilidad y la sustentabilidad cómo acciones simultáneas.
- Con la Ley General de Cambio Climático recientemente aprobada es fundamental considerar en el diseño y durante la construcción los sistemas de certificación relacionados con la sustentabilidad.

Recomendaciones

Los siguientes aspectos quedan fuera del alcance de ésta tesis, sería deseable se desarrollaran en investigaciones posteriores:

- El análisis de diversas estructuras de diferente tamaño y sistema constructivo para determinar la energía total de producción, insumos y valores asociados a cada uno.
- Uso de cada una de las metodologías de evaluación de desempeño ambiental.
- Revisión cuidadosa de sistemas de certificación medio ambiental aplicables a la construcción.
- El desarrollo de una evaluación más precisa de diseño sustentable en los programas de computadora y otras herramientas que puedan ser utilizados por los ingenieros civiles.

6 BIBLIOGRAFÍA

- Arab Hoballah, “*Sustainable Buildings*”, Drivers to Green Economy, United Nations Environment Programme, International Congress Sustainable Building for the Americas: Sharing Public Policy Best Practices for a Green Economy Mexico, 2011.
- Arenas Cabello, F.J.: “*El impacto ambiental en la Edificación Criterios para una construcción sostenible*”, Edisofer, España, 2007.
- Athena EcoCalculator for assemblies, *Inner Working Synopsis*, E.E.U.U., 2011.
- Anink, D., Boonstra, C., y Mak, J.: “*Handbook of Sustainable Building. An Environmental Preference Method for Selection of Materials for Use in Construction and Refurbishment*”, Londres, 1996.
- Baumert; Herzog; Pershing, “*Navigating the Numbers, Greenhouse Gas Data and International Climate Policy*”, Word Resources Institute, USA, 2005.
- Clementes, Richard B.; “*Guía completa de las normas ISO 14000*”; Ediciones Gestión, 2000.
- *Construction and Demolition Waste Management Practices, and their Economic Impacts*, Report by Symonds, in association with ARGUS, COWI and PRC Bouwcentrum, 1999.
- Curran, Mary Ann; “*Life Cycle Assessment: Principles and Practice*”; Scientific Applications International Corporation, National Risk Management Research Laboratory Office of Research and Development, E.E.U.U.; 2006.
- Danatzko, Joseph M., *Sustainable Structural Design*, Master’s Thesis, The Ohio State University, E.E.U.U., 2010.
- García Donas Ángel, “*Métodos de comparación de efectos ambientales en el sector de la construcción*”, Congreso Nacional del Medio Ambiente, Cumbre del Desarrollo Sostenible, Comunicación Técnica, España, 2005.

- Gùell; Vázquez; Varela; Guía Española de Áridos Reciclados procedentes de Residuos de Construcción y Demolición, “*Diagnostico Reciclaje RCD en España*”, Gremio de Entidades del Reciclaje de Derribos, España, 2008.
- Gutiérrez Avedoy Victor; “*Diagnóstico básico para la gestión integral de residuos*”, Instituto Nacional de Ecología; SEMARNAT, México, 2006.
- Clementes, Richard B., “*Guía completa de las normas ISO 14000*”, Ediciones Gestión S.A.; España, 1997.
- Fullana I Palmer, Pere, “*El Análisis del Ciclo de Vida como técnica para alcanzar la ecoeficiencia en edificación*”, Instituto Valenciano de la Edificación, Jornada Técnica Evaluación de materiales, productos y soluciones constructivas para una edificación sostenible, España, 2010.
- Hernández Ayón Francisco Javier, “*Metodología para Evaluación del Nivel de Sustentabilidad de Materiales de Construcción. Caso de estudio: El Acero*”, México, ix, 141 p.: il., Tesis Doctorado (Doctorado en Arquitectura)-UNAM, Facultad, México, 2009.
- INEGI, “*Estadísticas históricas de México 2009*”, Colección Memoria, México, 2010.
- Instituto Nacional de Ecología; “*La Evaluación del Impacto Ambiental*”, Segunda Edición, SEMARNAT, México, 2012.
- La Roche Pablo, “*Carbon Counting in Architecture: A Comparison of Carbon Estimating Tools*”, California State Polytechnic University, Pomona, E.E.U.U., 2007.
- Llatas Oliver, Carmen, et. al., “*Propuesta Metodológica para la obtención de un Índice de Aprovechamiento de Residuos en Obras de Rehabilitación en Andalucía*”, Ponencia SB10mad, Sustainable Building Conference, Madrid, 2010.
- OMM, PNUMA, “*La protección de la Capa de Ozono y el Sistema Climático Mundial, Cuestiones relativas a los Hidrofluorocarbonos y a los Perfluorocarbonos*”, Resumen para responsables de políticas y Resumen Técnico, 2005.
- Ochsendorf, et. al., “*Methods, Impacts, and Opportunities in the Concrete Building Life Cycle*”, Concrete Sustainability Hub, Massachusetts Institute of Technology, 2011.

- PCA; NRMCA, Ready Mixed Concrete Industry, "*LEED Reference Guide*", Updated with LEED Version 2.2 Information, E.E.U.U., 2006.
- Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial del Distrito Federal, "*Estudio de zonas impactadas por tiraderos clandestinos de residuos de la construcción en el Distrito Federal*", México, 2010.
- PNUMA, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, "*Cambio Climático*", Informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático 2007.
- PNUMA, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente / SEMARNAT Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, "*El Cambio Climático en América Latina y el Caribe*", México, 2006.
- Secretaria del Medio Ambiente, "*Diagnóstico Básico de Residuos de la Construcción del Estado de México*", Programa de Cooperación Técnica México-Alemania, "Gestión ambiental y manejo sustentable de Recursos naturales", México, 2007.
- Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, *Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos 2009-2012*, México, 2008.
- Secretaría de Medio Ambiente, *Minimización y manejo de Residuos de la Industria de la Construcción*, "Diagnóstico 2002", México, 2002.
- SEMARNAT, Instituto Nacional de Ecología, "*Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2002*", México, 2002.
- Rivera Mera Claudia Josefina, *Análisis de impacto ambiental por la inadecuada disposición de residuos de la construcción y demolición en el valle de México y propuesta de solución*, Tesis de Maestría en Ingeniería, UNAM, México, 2007.
- Report to DGXI, European Commission *Construction And Demolition Waste Management Practices, And Their Economic Impacts Final Report* February 1999 Report by Symonds, in association with ARGUS , COWI and PRC Bouwcentrum, 1999.
- U.S. Public Sector, *The Greenhouse Gas Protocol, Interpreting the Corporate Standard for U.S. Public Sector Organizations*, World Resources Institute, USA, 2002.