



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ACATLÁN

**ECONOMÍA CIRCULAR APLICADA
A LA EDIFICACIÓN EN MÉXICO**

T E S I S

que para obtener el título de
INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A N

Daniela Gama Cruz

Ulises Loreto Gurrola

Asesor: Dr. Raúl Pineda Olmedo



**Santa Cruz Acatlán, Naucalpan,
Estado de México (FES Acatlán). 2023**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos

A Dios,

gracias por haberme dado la paciencia y guiarme en cada paso hasta hoy. Por haber colmado mi vida de tantas bendiciones, amor y felicidad.

A la UNAM,

la escuela que me abrió sus puertas, me dio mi carrera, los conocimientos que ahora aplico en mi vida laboral, grandiosos amigos y sobre todo, el intercambio escolar que me cambió la vida. Prometo siempre portarte orgullosa, azul y dorada en mi corazón.

A mis padres,

quienes me dieron las herramientas para desarrollarme en lo personal, en lo académico y en lo profesional. Su apoyo incondicional y su ejemplo ha sido uno de los más grandes impulsos que me ha llevado hasta donde estoy ahora. Les estaré por siempre agradecida por su paciencia, sus consejos, y por sobre todo, su amor.

A mis profesores y sinodales,

gracias por compartir sus conocimientos y ayudarme a desarrollarme profesionalmente. Por su apoyo, paciencia y guía, este trabajo fue inspirado en la clase de aquellos profesores que iban mucho más allá de la enseñanza meramente académica.

A Ulises,

por ser mi compañero en este proceso tan importante. Por ser mi amigo desde el día uno de la carrera, y ahora por concluirlo conmigo. Espero siempre poder contar con tu amistad y tu cariño, que son invaluable para mí.

A mi hermana,

que me escuchó, apoyó y aconsejó durante la elaboración de este trabajo. Por hacerme reír y ser mi compañera siempre.

A mis abuelitos y a mis tíos,

que fueron una parte fundamental de mi educación. Gracias por enseñarme tanto, por su inmensa paciencia y su amor tan grande.

A Abraham,

por tu apoyo incondicional, tu confianza y tu amor. Por escucharme y acompañarme durante toda mi educación superior. Gracias por siempre creer en mí y por estar conmigo en cada paso del camino.

A mis amigos y familiares,

que han contribuido cada uno a su manera en diferentes etapas de mi vida. Les agradezco a todos y cada uno de ustedes su cariño y sus ánimos.

DANIELA

Agradecimientos

A Dios,

por interceder en mí, dándome fuerza e inyectándome perseverancia y valentía para que yo mismo pueda alcanzar mis metas.

A la UNAM,

por darme un espacio que me enseñó un mundo más allá del aula. Me comprometo a honrarte, y a la profesión que me has otorgado.

A mis profesores y sinodales,

los cuales tuvieron un gran impacto en mí a lo largo de mi formación profesional, inculcando el valor de servicio como eje central de nuestro trabajo. Gracias por presidir este momento.

A mis padres,

por la vida, el amor y el apoyo incondicional de tanto tiempo, encauzados hacia un logro conjunto de superación. Gracias por ser mi mayor ejemplo, tienen toda mi admiración y cariño.

A Daniela,

por ser una colega destacada. No hay mejor forma de culminar esta etapa, sino juntos. Gracias por el compañerismo, la paciencia y el inmenso cariño.

A mis familiares, amigos y colegas,

por animarme e inspirarme, enseñándome a disfrutar de las pequeñas cosas y celebrar con orgullo los grandes éxitos.

Objetivo

Analizar los avances de la aplicación de la Economía Circular (EC) en el sector de la edificación nacional, para finalmente establecer propuestas que asienten un antecedente para la creación de un marco normativo en materia de EC aplicado al ámbito de la ingeniería civil. Buscando así, un equilibrio entre el desarrollo urbano y la conservación del entorno natural.

Índice

- Objetivo..... 4
- Índice..... 4
- Introducción..... 7
- Capítulo 1. Introducción a la Economía Circular..... 8**
 - 1.1. Economía y su evolución en México..... 8
 - 1.1.1. Breve historia de la economía en México..... 8
 - 1.2. La economía como la ciencia de la escasez..... 11
 - 1.2.1. Problemáticas fundamentales de la economía..... 11
 - 1.3 Crisis Climática y Agotamiento de Recursos..... 14
 - 1.3.1 Definiciones..... 16
 - 1.3.2 Agotamiento de Recursos..... 17
 - 1.3.2.1 Escasez del agua..... 20
 - 1.3.2.2 Fuentes de energía alternativa..... 27
 - 1.3.3 Impactos Ambientales de la Construcción..... 34
 - 1.3.3.1 Contaminación..... 35
 - 1.3.3.1.1 Impacto sobre las aguas superficiales y subterráneas..... 36
 - 1.3.3.1.2 Impacto sobre la atmósfera..... 39
 - 1.3.3.1.3 Impacto sobre el suelo..... 44
 - 1.3.3.1.4 Otros..... 46
 - 1.3.3.1.2 Residuos de Construcción y Demolición, RCD..... 47
 - 1.3.3.1.2.1 Plan de manejo de RCD 2014..... 50
- Capítulo 2. Economía circular..... 53**
 - 2.1 Definición y comparativa economía circular vs. lineal..... 53
 - 2.2 Fundamentos de la Economía Circular..... 58
 - 2.2.1 Escuelas de pensamiento..... 58
 - 2.2.2 Pilares..... 60
 - 2.3 Aplicación de la Economía Circular en México..... 63
 - 2.3.1 Contexto Nacional de la Economía Circular..... 64
 - 2.3.1.1. Tasa de circularidad..... 67
 - 2.3.2. Marco legal para impulsar la transición hacia una Economía Circular..... 72
 - 2.3.2.1 Ley General de Economía Circular, LGEC..... 72

2.3.2.2 Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, LGEEPA.....	74
2.3.2.3 Ley General de Prevención y Gestión Integral de los Residuos, LGPGIR...	75
2.3.2.4 Ley de Transición Energética, LTE.....	76
2.3.3 Políticas de Economía Circular alrededor del mundo.....	77
2.4 Economía Circular en la construcción.....	79
2.4.1 Esquematación aplicable.....	80
2.4.2 Papel de los agentes que participan en cada etapa del proceso.....	84
2.4.3 Retos y limitantes para el desarrollo de EC.....	87
Capítulo 3. Análisis del Ciclo de Vida, ACV.....	92
3.1 Antecedentes.....	92
3.1.1 Fases del ACV.....	93
3.2 ACV de los materiales de construcción.....	96
3.2.1 Extracción y fabricación.....	97
3.2.2 Planificación y diseño.....	98
3.2.3 Uso.....	100
3.2.4 Disposición final.....	102
3.3. ACV de la edificación.....	103
3.3.1 Diseño del proyecto y obtención de materiales.....	104
3.3.2 Ejecución del proyecto.....	106
3.3.3 Operación y mantenimiento.....	107
3.3.4 Fin de Vida Útil.....	108
3.4. Herramientas de software ACV.....	109
3.4.1. De uso general.....	110
3.4.2. Específicas para el sector de la construcción.....	112
Capítulo 4. Propuestas para la formulación de estrategias en materia de Economía Circular aplicadas a la edificación en México.....	117
4.1. Diseño y construcción de la edificación.....	117
4.1.1 Localización y accesibilidad.....	118
4.1.2 Insumos de la edificación.....	120
4.1.3 Aprovechamiento hídrico y energético.....	122
4.1.4 Gestión de RCD.....	124
4.2. Operación de la edificación.....	127
4.2.1 Adaptación local.....	127
4.2.2 Eficiencia en el consumo de agua.....	130
4.2.3 Optimización de los sistemas energéticos.....	133
4.2.4 Mantenimiento.....	136
4.2.4.1 Rehabilitación.....	137
4.3. Herramientas de apoyo para la aplicación de EC.....	139
4.3.1 Metodologías de Gestión.....	139
4.3.2 Certificaciones para la construcción sustentable.....	148
4.3.3 El papel de la ética en la implementación de la EC.....	155

4.3.3.1 De las empresas constructoras.....	158
4.3.3.2 De los clientes.....	160
4.4. Implementación de un Sistema de Gestión de Calidad.....	161
4.4.1. Sistema de Gestión Documental.....	162
4.4.2. Estructura de Procesos.....	164
4.4.3. Planificación de Auditorías.....	167
Capítulo 5. Comparativa de la aplicación de principios de EC en la edificación.....	169
5.1 Criterios de evaluación.....	170
5.2 Torre BBVA México.....	171
5.2.1 Datos Generales.....	172
5.2.2 Arquitectura y Amenidades.....	173
5.2.3 Ingeniería estructural y sísmica.....	174
5.3 Platinum BCN.....	177
5.3.1 Datos Generales.....	178
5.3.2 Arquitectura y Amenidades.....	179
5.3.3 Ingeniería estructural y energética.....	180
5.4 Análisis comparativo de los principios de la Economía Circular aplicados en la construcción y operación de la Torre BBVA y el complejo de oficinas Platinum BCN....	181
5.4.1 LEED Scorecard.....	182
5.4.2 Tabla resumen.....	186
Conclusiones.....	191
Referencias Bibliográficas.....	193
Bibliografía.....	195

Introducción

La industria de la construcción en México es considerada de alto impacto económico, puesto que además de ser necesaria para satisfacer las necesidades de la población, constituye una condición básica para mejorar la competitividad empresarial, además de que el desarrollo de infraestructura es uno de los indicadores de progreso más importantes a nivel país. Desafortunadamente, este crecimiento conlleva altas tasas de contaminación atmosférica, de agua potable y una inmensa cantidad de residuos.

Para mitigar estos efectos, se ha propuesto utilizar una alternativa al modelo económico actual, conocida como Economía Circular (EC), la cual ha tenido un tímido desarrollo en los últimos años. Sin embargo, las condiciones medioambientales actuales exigen un cambio contundente en la manera en la que se aprovechan los recursos, que como sabemos, son escasos y requieren de un manejo inteligente para preservar el equilibrio ecológico a lo largo del tiempo.

Este modelo es aplicable a cualquier industria, y busca asemejar los ciclos que ocurren de forma natural en los ecosistemas, donde los residuos sean reintegrados en los procesos de este u otros ciclos. Los seres humanos, al formar parte de los ecosistemas, tenemos un papel activo dentro de estos procesos, pero debemos adquirir un compromiso mayor si queremos garantizar la disponibilidad futura de los recursos que extraemos de la naturaleza.

En México, los esfuerzos más recientes por implementar el modelo se concentraron en la expedición de la Ley General de Economía Circular (LGEC), la cual servirá como base regulatoria para incorporar los principios de la EC en las actividades económicas e industriales del país. Manteniendo vigentes durante el mayor tiempo posible el valor de los materiales y recursos dentro del ciclo económico, reduciendo significativamente la generación de residuos y la extracción de materias primas.

Este es un gran paso hacia la transición económica, pero en vista de que esta Ley es de carácter general y no tiene una sección específica para adaptar las prácticas llevadas a cabo en la construcción, este trabajo busca sentar un precedente de investigación en la materia, a través de una recopilación de diversos textos con el fin de analizar los desafíos que enfrenta la industria de la construcción en México para gestionar de manera integral tanto los recursos necesarios como los residuos de construcción y demolición; así como buscar estrategias de alto valor económico, social y ambiental. Asimismo, se enfatiza el papel del uso de herramientas como el Análisis de Ciclo de Vida, los Sistemas de Gestión de Calidad, Metodología BIM, certificaciones ambientales, entre otras; que conjuntamente facilitan la aplicación de la Economía Circular en la edificación.

Capítulo 1. Introducción a la Economía Circular

1.1. Economía y su evolución en México

La economía siempre ha estado presente a lo largo de la historia del ser humano, desde que los primeros hombres y mujeres empezaron a organizarse, administrando los recursos obtenidos primeramente de la naturaleza, para posteriormente utilizarlos a su conveniencia.

El estudio de esta ciencia ha cambiado según las diferentes etapas de la historia, donde las antiguas civilizaciones hicieron grandes aportaciones, especialmente los griegos al darle un término a economía con el vocablo *oikonomia*, que deriva de los vocablos *oikos* que significa “casa” y *nomos* que significa “ley”. Inicialmente se estudiaba la administración del hogar, pero el estudio se fue expandiendo hasta abarcar sociedades completas, evolucionando a lo que se conoce como política económica.

El término de economía como ciencia nació en 1776 con la publicación del libro “La riqueza de las naciones”, del cual el autor, Adam Smith (1723-1790), sería conocido posteriormente como el padre de la economía. Desde entonces, esta disciplina ha sido definida por varios autores, y para la oportuna comprensión de este trabajo, utilizaremos la siguiente definición:

Ciencia social que estudia la manera en que la sociedad utiliza recursos escasos para producir, distribuir y consumir bienes o servicios que satisfacen las necesidades del hombre.

1.1.1. Breve historia de la economía en México

En México, la economía ha sufrido muchos cambios a lo largo de la historia, modificando la forma en la que se estudia y se practica. A continuación se describirán los acontecimientos más importantes que culminaron con la creación del modelo económico actual del país.

Desde la comunidad primitiva hasta la revolución mexicana

Comunidad Primitiva

Cuando los primeros hombres se movían en grupos, conocidos también como “nómadas”, solamente se producía lo que se consumía y no existían excedentes; esto quiere decir que todo aquello que se cazaba o se recolectaba era utilizado por el grupo de forma inmediata.

Hubo varios factores que impulsaron a estos grupos a hacerse sedentarios, como lo fue el consumo de carne de forma regular. En algún momento se percataron de que era mucho más sencillo criar animales para consumo que cazarlos, por lo que se comienza a practicar la ganadería, y simultáneamente la agricultura. Este cambio de nómadas a sedentarios se conoce como *la primera gran división social del trabajo*.

Este hecho trajo consigo varios cambios en la forma de vida de los entonces pobladores de la tierra, empezando por la aparición de los excedentes en la comida que se producía, lo que a su vez comenzó con el primer modelo económico en la historia: el trueque. Esto

debido a que una vez que las necesidades de la comunidad ya estaban satisfechas, quedaban bienes en exceso que se podían intercambiar por otros que no se produjeran en esa comunidad.

Este modelo se basaba en el intercambio de bienes materiales, sin ningún tipo de “moneda”, sino que el valor de cada producto estaba determinado por las unidades físicas.

Con la creación de estos sistemas de trueque, las sociedades se organizaron social y económicamente, lo que permitió que los pueblos fueran autosuficientes, pero al mismo tiempo trajo consigo inconvenientes, porque cuando el intercambio no era equitativo los valores de los productos cambiados eran distintos. Con el tiempo, esta práctica buscó más que satisfacer necesidades, obtener ganancias, hasta evolucionar a un sistema de comercio establecido (Valenzuela, 2013).

Todo esto provocó también que los medios de producción se individualizaron, lo que genera lo que se conoce como propiedad privada. El fenómeno se volvió aún más grande con el inicio de las guerras y conquistas, ya que originó a los “pueblos esclavos”, quienes tenían que dar una gran parte de sus bienes a la civilización que los conquistara, como fue el caso del Imperio Azteca, que gracias a la formación de la Triple Alianza en México, un grupo guerrero conformado por Tenochtitlan, Texcoco y Tlacopan, logró hacerse con el control de la mayoría de los pueblos establecidos en del país, lo que la consolidó como la civilización de mayor poder económico en ese momento.

Periodo de la Conquista

Esto cambia cuando en 1521 el Imperio Azteca es brutalmente sometido por los españoles, que liderados por Hernán Cortés y con la ayuda de los pueblos esclavos, quienes hartos del pago de tributo unieron sus fuerzas para derrocar el control del Imperio. Así se instituye un nuevo reino, con un nuevo modelo económico, el de la Nueva España.

Debido a que los españoles ya contaban con una amplia red comercial internacional, lo que trajeron un sin número de innovaciones al país, tales como herramientas de hierro, vehículos con ruedas, nuevos cultivos, así como la introducción de la actividad económica más importante de la época colonial: la minería.

La importancia de los flujos de suministro a las minas radica en el hecho de que en ellas se consumía gran cantidad de artículos de producción interna, incluso mayor que los importados. Al pagar el consumo minero en metálico, se dio origen a la circulación interna y a la parcial monetarización de la economía. La plata fluía de mano en mano, hasta entrar al final, en gran parte, en las arcas de la Real Hacienda y en las bolsas de los grandes comerciantes, quienes la transferían a los circuitos exteriores (Kuntz, 2010).

Debido a la gran cantidad de plata que se estaba extrayendo de la tierra en ese momento, las primeras monedas en el país se fabricaron con este material. La utilización de monedas con un valor garantizado agilizó mucho las transacciones.

Lucha de Independencia

El siguiente giro en la economía mexicana fue cuando en 1810 estalla el movimiento de la Independencia, lo cual desata una profunda crisis fiscal. Durante las batallas que se suscitaron entre 1810 y 1821, hubo algunos caudillos que decidieron acuñar sus propias monedas. Estas eran generalmente de bronce debido a la escasez de plata, y eran una especie de promesa para un pago real una vez la lucha terminara. Este hecho es considerado como la aparición del dinero fiduciario (sin valor) en México.

Tras la proclamación de Independencia en 1821, la moneda que empezó a circular se denominó como "real", y se autorizó la primera producción de billetes. En 1897 se creó la moneda que conocemos hoy en día como "peso".

Revolución Mexicana

En 1910 inició otra guerra civil en el país: la Revolución Mexicana. Esta lucha armada fue extremadamente violenta y la economía del país se vio seriamente afectada, principalmente por la destrucción de las vías del ferrocarril, que ocasionó que el traslado de mercancías se volviera sumamente costoso, generando una escasez de alimento casi total en el centro de la ciudad, así como inflación por desabasto. El dinero perdió valor rápidamente y lo que la gente desesperadamente esperaba conseguir eran bienes consumibles como maíz y trigo. Aunado a esto, México sufrió una baja importante en cuanto a inversión extranjera.

Una vez finalizada la guerra fue necesario un ordenamiento del sistema monetario que culminó con la creación del Banco de México en 1925, institución que ayudó a aumentar los medios de pago no metálicos.

Periodo Actual

Desde entonces se marcó un periodo de relativa estabilidad en la moneda mexicana, aunque tuvo algunas devaluaciones debido a la adquisición de una deuda externa con Estados Unidos, principalmente por el conflicto de la Revolución. A principios de 1981 hubo una ligera devaluación en el precio del petróleo, lo que marcaba el fin de la época de expansión de esta materia prima. Debido a una serie de malas decisiones tomadas por el gobierno (que en ese entonces estaba pasando por un proceso de elecciones presidenciales), así como una falta de voluntad política para detener el gasto público, el país de pronto se encontró sin dinero para pagar la deuda externa que todavía tenía con Estados Unidos, lo que disparó los intereses acumulados, y sus líneas de crédito fueron canceladas de forma súbita. México decide vender entonces petróleo al por mayor, a un precio sumamente bajo, para evitar la quiebra del país.

Aún con esta medida, el presidente de ese momento, López Portillo, no tuvo más opción que expropiar la banca. Aún así el peso sufrió una devaluación de casi 50 pesos por un dólar americano. En los seis años siguientes el valor del dólar se multiplicó 15.4 veces.

El último acontecimiento que se va a mencionar es la Crisis Monetaria de 1994. Debido a que México seguía sin contar con las reservas para pagar su deuda externa, y sumando otra serie de malas decisiones del gobierno, especialmente un incremento sin precedentes del

gasto fiscal, llevaron al peso mexicano a su más grande devaluación en la historia, cuando le fueron eliminados tres ceros, convirtiendo, mil pesos en apenas uno.

Como se puede ver, en el transcurso de la historia del país ha habido muchos cambios en la forma en que la economía funciona, pasando desde intercambiar bienes por bienes en las civilizaciones prehispánicas, hasta las transferencias electrónicas que se pueden hacer hoy en día desde la comodidad de nuestro celular. En cada etapa de la historia, la economía se adapta a las necesidades de la sociedad. No se trata de una ciencia *lineal* o constante, sino que se transforma, evoluciona. Y lo seguirá haciendo en cada época futura de la historia.

1.2. La economía como la ciencia de la escasez

La economía es conocida como la ciencia de la escasez, debido a que los recursos que se necesitan para producir bienes se encuentran únicamente en cantidades limitadas, por lo cual continuamente se buscan estrategias para encarar esta escasez, mediante la implementación de una política económica por parte de las autoridades, que beneficia o perjudica a la población. Cuando hablamos de recursos escasos, hablamos de los factores de producción, reconocidos por la propia Secretaría de Economía como:

- Tierra: Todo aquello que nos brinda la naturaleza, en forma de suelo, agua, aire, alimento, minerales, combustibles fósiles, etc. La remuneración de la tierra es la renta.
- Trabajo: Hace referencia directa al tiempo y esfuerzo, tanto físico como intelectual, que le toma al personal producir un bien o servicio. La remuneración para los trabajadores son los salarios.
- Capital: Son todos los bienes de los que se disponen para producir otros bienes, como maquinaria, herramienta, equipo, bienes muebles e inmuebles, etc. A la remuneración de este factor se le conoce como intereses.

Existe un cuarto factor de producción, propuesto por Alfred Marshall (1842-1924), conocido como **habilidades empresariales**. Trata sobre la organización, dirección y manejo de los anteriores factores de producción, buscando siempre el mayor margen de utilidad a menor costo. La remuneración de este factor es la utilidad.

1.2.1. Problemáticas fundamentales de la economía

La economía es la ciencia social que estudia de manera científica el comportamiento del ser humano dentro la sociedad en la que vive cuando trata de allegarse recursos escasos para satisfacer sus necesidades (Goldstein y Hillard, 2009).

Como toda ciencia, esta debe someterse a los pasos del método científico para emitir leyes que establezcan una relación entre distintos factores, preferentemente cuantificables para poder realizar un análisis más certero.

La economía, al ser una ciencia social y basar su estudio en el comportamiento humano, no puede comprobar una hipótesis tan fácilmente como funciona con las ciencias exactas (sean matemáticas, física o química) donde se utilizan pruebas de laboratorio para ello; el

considerar factores de tipo social, político o ambiental y sus relaciones entre sí, generan un estudio complejo por todas las causas simultáneas implicadas y poco cuantificables.

El primer paso para estudiar un fenómeno económico es precisar un solo factor de interés a la vez, delimitando el campo de estudio y buscando una relación causa - efecto para elaborar una hipótesis. La comprobación de esta premisa no será sencilla, debido a que en el mundo real no existen los factores aislados, sino que coexisten simultáneamente en sistemas complejos.

Todas las sociedades, sean un país de primer mundo, una industria, una sociedad mercantil o una familia; se enfrentan a resolver tres problemas económicos fundamentales, que dependen de la organización de esta sociedad:

1. ¿Qué producir y en qué cantidad?
2. ¿Para quién producir?
3. ¿Con qué técnicas producir?

Estas interrogantes deben ser respondidas con el adecuado manejo de los factores de producción, los cuales debemos recordar que son finitos, al contrario de los satisfactores humanos como alimentación, vestido, salud, educación, vivienda, comodidades, entre otros. Sin olvidar que existen diferentes sistemas económicos para tratar estas problemáticas, como el capitalismo, socialismo y la economía mixta.

¿Qué producir y en qué cantidad?

Existe un factor primordial para contestar esta pregunta, y se trata de los recursos con los que cuenta una sociedad, donde es más fácil producir bienes para los cuales hay abundancia de recursos, aunque por esa misma razón se practica la explotación de estos, ya que las industrias al buscar el máximo beneficio, quieren producir lo máximo posible, pero esta es una premisa insostenible. Pero entonces ¿Qué solución se ajusta a las necesidades de la población? Esta pregunta está íntimamente relacionada con la demanda y la oferta.

La demanda es la cantidad de bienes y servicios que los consumidores están dispuestos a comprar a un determinado precio en un tiempo dado. La ley de la demanda define una relación inversa entre el precio de un bien y la cantidad demandada. Cuando el precio de un bien aumenta, la cantidad de personas que pueden adquirirlo disminuye, y viceversa.

La oferta es la cantidad de bienes y servicios que los productores están dispuestos a vender a los diferentes precios de mercado. La ley de la oferta dice que si el precio de un bien o servicio aumenta, la cantidad de productores que deseen venderlo, aumentará, y viceversa.

Los vendedores tratarán de vender lo más caro posible sus productos (gráficamente se representa como una curva positiva, donde en el eje "y" se encuentra el precio, y en el eje "x" la cantidad ofertada), al contrario de los compradores que buscan adquirir productos lo más barato posible (representado como una curva negativa).

Por la naturaleza de estas curvas, existe un punto de intersección conocido como punto de equilibrio del mercado, donde oferentes y demandantes llegan conjuntamente a un precio, coincidiendo en la cantidad a comercializar en el mercado.

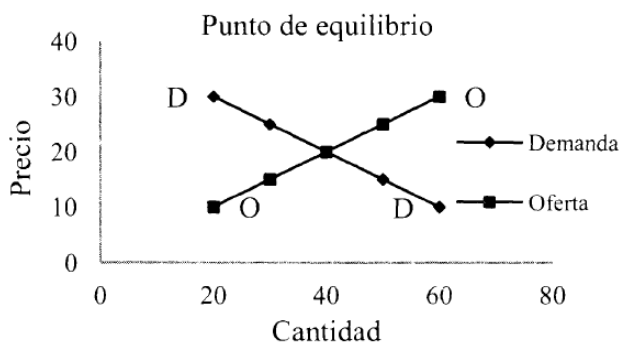


Figura 1.1: Gráfica oferta - demanda.

Fuente: Astudillo Moya, M., & Paniaguas Ballinas, J. F. (2012). Fundamentos de Economía. México: Probooks.

Así pues, los productores deben estar constantemente estudiando y dirigiendo su producción hacia las necesidades de la población a la que tienen alcance, que son indiscutiblemente cambiantes. Por ejemplo, para una sociedad que posee una gran población infantil, la producción inicial estará enfocada en los juguetes, pero esta deberá adaptarse a la población futura, ya que no es posible asegurar que esta condición permanezca constante.

Además, no es lo mismo producir bienes de consumo que bienes de capital, hay que saber distinguir entre producir juguetes o una máquina para hacer juguetes, donde la segunda alternativa impulsaría la producción y posiblemente el consumo en un futuro. Resulta difícil tener certeza de que un producto tendrá una buena y rápida aceptación, por lo que para mitigar esta incertidumbre es necesario conocer las necesidades del destinatario final.

¿Para quién producir?

La economía se basa en el hecho de que es imposible adquirir todo lo que se desea, en gran medida por las limitaciones de ingresos, donde existen grupos sociales que no les es posible cubrir sus necesidades básicas, representando una lucha diaria por la supervivencia.

Los ingresos son en realidad la remuneración de los diferentes factores de producción, donde el salario destaca del resto por ser un agente diferenciador entre las personas que adquieren más bienes y servicios que otras con un bajo salario. Es claro que una persona que gana 60,000 pesos al mes, puede adquirir una cantidad de bienes y servicios 10 veces mayor a la que gana únicamente 6,000 pesos al mes. Debido a esto, podemos distinguir entre las diferentes necesidades de las personas y hogares que componen una sociedad, que tienen una diferente capacidad de adquisición y además cuentan con un estilo de vida con diferentes exigencias. Mientras una persona busca adquirir una tarjeta para uso del transporte público, otra puede estar cotizando un carro, y otra más una bicicleta.

Cuando se lleva a cabo un estudio de mercado, debemos concluir si existe una demanda potencial lo suficientemente insatisfecha para intervenir como proveedor de estas exigencias que presenta esa parte de la población. Un buen sistema de reparto de bienes tiene como objetivo disminuir la brecha de riqueza entre los diferentes miembros de una sociedad, aunque muchas veces esta tiende a aumentar ya que desde un inicio la producción es

planeada para que los destinatarios finales sean pocos y exclusivos, y no escatiman en los costos de producción, lo que aumenta los precios.

¿Con qué técnicas producir?

En este punto se define qué factores de producción son claves para la economía de una sociedad determinada, definiendo además el tipo de tecnología a utilizar, donde se toman en cuenta varios factores, pero casi todos dependen del capital disponible, así como de la fuerza de trabajo calificada para llevar a cabo una producción. Según lo que busquemos y nos sea viable, debemos tener en cuenta los siguientes factores a la hora de tomar una decisión sobre las técnicas e instrumentos a emplear:

- La automatización del trabajo, que implica un desplazamiento continuo de la mano de obra por máquinas, muchas profesiones se encuentran amenazadas por el llamado *desempleo tecnológico*.
- Las fuentes de energía a utilizar y el impacto ambiental que implican, ya sea a base de combustibles fósiles o energías renovables.
- Priorizar la *calidad* sobre cantidad, ya que las industrias, por buscar compradores, abaratan los costos de producción al máximo sin considerar adecuadamente el impacto social y ambiental que conlleva.

Cuando un productor se enfoca en ofrecer cantidad, explota los factores de producción empleados, sacándole el máximo provecho a estos para disminuir costos debido al tipo de tecnología utilizada (que en la mayoría de los casos son procesos dañinos para el medioambiente y para la población, donde la mano de obra barata que labora en este tipo de industrias es la principal afectada) y que sus productos cuenten con un precio atractivo, aunque no sean durables (ya que la materia prima utilizada muchas veces no es la ideal para el tipo de trabajo al que se somete).

Por lo tanto, debemos buscar técnicas que nos permitan tener un negocio rentable, factible según nuestras habilidades y que no descuiden la salud pública y ambiental en el proceso. Hay que recordar que prevenir siempre tendrá más importancia que resarcir.

1.3 Crisis Climática y Agotamiento de Recursos

Como lo dicta la ecología: “Todo está relacionado con todo lo demás”. Existe una relación entre todos los organismos vivos (factores bióticos) y su ambiente (factores abióticos) dentro de un ecosistema, donde cada uno tiene un grado de influencia para el funcionamiento de este. Los seres humanos también participamos en esta red interrelacionada con todos los seres, pero, por nuestra capacidad de razonamiento, nos hemos organizado de tal manera que modificamos intencionalmente los ecosistemas existentes según nuestra conveniencia.

El mayor conflicto de la civilización humana recae en nuestras actividades. Por ejemplo, desde el periodo Paleolítico existen efectos ecológicos, como la desaparición de especies tal como es el caso del mamut; o en el Neolítico, donde se presentaron las primeras áreas deforestadas por la agricultura y el pastoreo. Nuestra evolución requirió también de una

adaptación de las actividades humanas, las cuales poco a poco han tenido una mayor influencia en los lugares donde nos asentamos, a tal grado que hoy en día pareciera que nos involucramos con cualquier proceso natural dentro e incluso fuera del planeta.

No fue sino hasta la Revolución Industrial donde gracias al desarrollo tecnológico y científico, escaló el uso sin precedentes de los recursos naturales. Hablamos de un efecto dominó, donde por tener que satisfacer las necesidades del excedente de una población cada vez más numerosa, incrementó la extracción de materias primas así como la contaminación y los desechos. Sin mencionar la enorme migración a las ciudades, donde las intensas demandas se extendieron más allá de sus fronteras.

La humanidad sigue en constante evolución; el desarrollo implica cosas positivas como la indiscutible mejora en la calidad de vida, donde el desarrollo urbanístico tiene especial importancia debido a que provee de infraestructura segura y adecuada para la realización de las actividades humanas.

Sin embargo, así como la industria de la construcción representa cerca del 8% del PIB en países desarrollados (y alrededor del 5% el PIB en países en vías de desarrollo)¹, demostrando que es un sector clave para la generación de riqueza, también contribuye al 23% de la contaminación atmosférica, 40% de la contaminación de agua potable y 50% de residuos en los vertederos.²

El hecho de que los problemas ambientales deriven finalmente en malestar social y económico, ha despertado el interés de sociedades y gobiernos por encontrar soluciones alternativas, cuestionando incluso el concepto mismo de desarrollo. (Navarro y Dávila, 2020)

Los principales indicadores de crisis ecológica muchas veces nos pueden llevar a pensar que el ser humano y la naturaleza no pueden convivir en armonía, alejándonos de la verdadera solución a los problemas y conduciendo a la población al pánico o a la resignación.

El hecho de estar presentes aquí, ahora, y considerando el pensamiento crítico que hemos desarrollado, nos obliga a encontrar respuestas cuestionando los modelos actuales que presentan grandes rezagos y ya no se adaptan con las exigencias mundiales actuales. El punto no es mandar un mensaje de esperanza o de devastación, sino de pulir nuestros planes de acción, gracias a los conocimientos adquiridos sobre la auténtica sustentabilidad.

Así como nos organizamos en el inicio de la historia para crear comunidades, es momento de re-organizarnos para establecer un modelo que no denigre a la construcción y a los asentamientos humanos, ya que no es algo tan sencillo de cambiar como de focos incandescentes a los ahorradores, sino de utilizar estratégicamente los recursos disponibles

¹Dato obtenido de: *Estadísticas globales de la industria de la construcción*. (2018). Guía de la Industria Química.

² Datos obtenidos de: *The Impacts of Construction and the Build Environment*. (2010). Willmott Dixon.

(especialmente los menos contaminantes), donde las regulaciones legislativas tengan una participación contundente.

Estudiaremos ahora los impactos ambientales que tiene la industria de la construcción, derivado de las malas prácticas que se han llevado principalmente en las últimas décadas y qué podemos esperar como sociedad a causa de estas tendencias históricas.

1.3.1 Definiciones

Impacto ambiental vs. contaminación

Para poder comenzar a entender los impactos que las actividades antropogénicas han tenido en el medio ambiente, es necesario empezar desde la diferenciación que existe entre los términos de impacto ambiental y contaminación.

Un impacto ambiental puede ser positivo o negativo. Es una alteración o cambio ambiental, que se da en un tiempo determinado, y es producto de una actividad humana. Se entiende que para poder decir que existió un impacto de esta índole se tiene que hacer una comparación entre la situación que había antes de que dicha actividad fuera iniciada, y después. En la bibliografía se puede definir como:

“Alteración de la calidad ambiental que resulta de la modificación de los procesos naturales o sociales provocada por la acción humana” (Díaz & Escárcega, 2009).

La contaminación, por su parte, es un impacto ambiental negativo, lo que significa que provoca daños o degradación en el medio ambiente. Debido a que esta se presenta en forma de materia y energía (las cuales se pueden medir con unidades físicas), se pueden establecer límites, patrones, y por lo tanto leyes que regulen estos parámetros permitidos. En la bibliografía se define como:

“La liberación en las aguas, aire o suelo, de toda y cualquier forma de materia o energía, con intensidad, en cantidad, en concentración, o con características tales que puedan causar daños a la biota, incluyendo los seres humanos. Cuando un ecosistema es rebasado en su capacidad natural por reducir o absorber el impacto del exceso de energía, calor, residuos sólidos o líquidos, explotación de los recursos naturales o transformación del medio para crear una obra (represa, planta industrial, confinamiento, desarrollo urbano), entonces aparece un factor de daño al que se le denomina “contaminación” o deterioro ambiental” (Díaz & Escárcega, 2009)

Desarrollo Sustentable

En 1983 la ONU conforma la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, y pone a cargo a Gro Harlem Brundtland, Primera Ministra Ambiental de Suecia. Este grupo, conocido también como Comisión Brundtland, inicia una serie de investigaciones, discusiones y audiencias en todos los continentes, y finalmente en 1987 redactan y publican un documento conocido como “Nuestro Futuro Común”, o “Informe Brundtland”, que *advier*te que la humanidad debe cambiar los modos de vivir y de interacción comercial antes de que

sea demasiado tarde y el daño ya no pueda ser contenido ni reparado, guiando a la humanidad a una era de decadencia e inclusive conflictos armados para hacerse con los pocos recursos disponibles.

Es en este documento donde se da la definición que todos conocemos hoy en día de desarrollo sustentable: “se deben asegurar que se satisfagan las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer las propias”.³

El propósito del informe no es profetizar un futuro decadente, “es la posibilidad de una nueva era de crecimiento económico que tenga como fundamento políticas que sostengan y amplíen la base de recursos del medio ambiente”. (Díaz & Escárcega, 2009). Es un llamado a los gobiernos y sociedad en general, para tomar acciones inmediatas que permitan la conservación del medio ambiente, y de los recursos en él.

Por último, este reporte señala claramente que es responsabilidad de todos tomar acciones. No importa dónde habites o el sector económico donde laboras, todas nuestras actividades están relacionadas entre sí. De igual manera todas las industrias tienen conexiones entre sí, y se impactan unas a otras en el día a día, tanto en lo positivo como en lo negativo.

1.3.2 Agotamiento de Recursos

Mientras la economía discute la manera como la sociedad capitalista organiza su producción y asigna sus recursos, no repara en que la base última de todo proceso productivo depende de los recursos naturales. (Foladori, 2001)

Todas las actividades humanas dependen de los recursos disponibles del planeta, es por esto que cada año se ve rebasada la biocapacidad de la Tierra para satisfacer nuestras necesidades, interpretándose como una deuda por cubrir debido a que el planeta no tiene la forma de regenerar los recursos que ya se consumieron en ese año; hoy por hoy, la humanidad se termina los recursos asignados que se supone debieron durar todo el año en menos de 8 meses. Este número de recursos se determina por la capacidad de resiliencia de la naturaleza, donde los ecosistemas tienen que amortiguar los efectos de los cambios y perturbaciones que generamos sobre ellos.

Así pues, en 2022 agotamos el capital natural en el día 214 del año. Cuando se llega a ese déficit ecológico, a nivel



Figura 1.2: Escenario de recursos necesarios por país
Fuente: National Footprint and Biocapacity Accounts 2022

³ Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo. (1988). *Nuestro futuro común*. Madrid. Alianza Editorial, p. 29. La definición que la World Commission on Environment and Development (1987) presente dice: ...”development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their owns”. (WCED, 1987, p. 43)

mundial, se le conoce como Día de la Sobrecapacidad, el cual para el año 2023 correspondió al 02 de agosto.⁴ Los estudios hechos por la edición 2022 de las Cuentas Nacionales de la Huella y Biocapacidad muestran un desglose por país según alcanzan cada uno su Día de Sobrecapacidad, demostrando que, si todos los habitantes del mundo consumieran como el estadounidense o al europeo occidental promedio, la demanda de recursos naturales sería muy superior a la media que se maneja actualmente de 1.75 planetas Tierra, necesitando hasta 5.1 de estos.

En las Figuras 1.2 y 1.3 se muestra el Día de la Sobrecapacidad 2023 por país, donde podemos darnos una idea de la cantidad de bienes consumidos en países como Qatar, Luxemburgo, EUA, Canadá y Emiratos Árabes Unidos, en contraste con países como Jamaica y Ecuador.

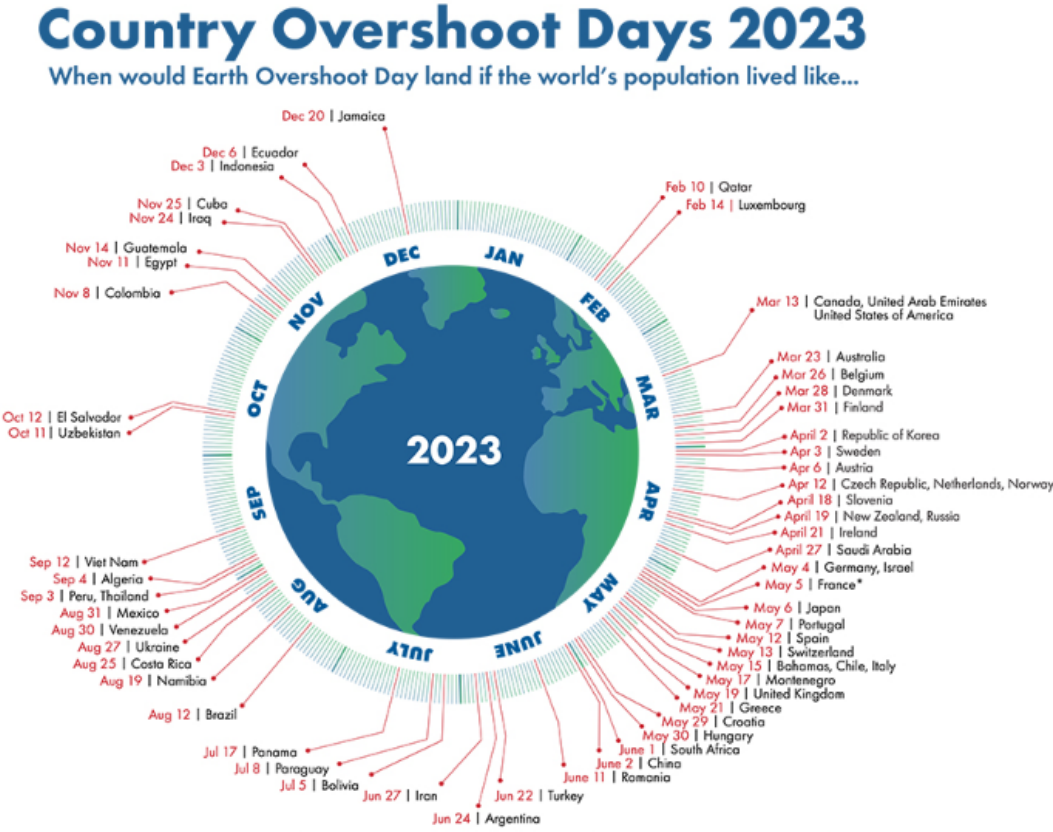


Figura 1.3: Día de la Sobrecapacidad por País
Fuente: Día de la sobrecapacidad de la Tierra. (2023). WWF.

En el caso de Qatar, un factor que influyó mucho para que se posicionara como el país con el Día de Sobrecapacidad más cercano (los recursos que le deberían durar todo un año, se los acabaría en 41 días) es que fue anfitrión de la Copa del Mundo 2022, para lo cual tuvo que construir 8 estadios de fútbol y 16 hoteles en un tiempo récord. Qatar es un país donde el fútbol no es precisamente popular, por lo que cuando este país árabe envió su solicitud

⁴Dato obtenido de: *Día de la sobrecapacidad de la Tierra.* (2023). WWF.

para ser anfitrión; lo hizo pensando no en la afición, sino en el crecimiento económico que iba a tener gracias al turismo y publicidad derivado del evento. Este es un claro ejemplo de que la infraestructura de un país es un catalizador para su desarrollo económico.

La sobrecapacidad de la Tierra es, en términos económicos, como agotar el saldo disponible de una cuenta y entrar en números rojos. La diferencia radica en que para esa problemática es posible pedir un crédito bancario, pero no es posible pedir un préstamo de agua potable, o de especies extintas, petróleo, etc. Es aquí donde podemos hacer una distinción entre los diferentes tipos de recursos y como se agotan cada uno de ellos:

- Caso del agotamiento puro de recursos: Esta condición toma en cuenta un material del cual sólo se dispone de una cantidad fija, sin posibilidad de regenerarse, y localizado estrictamente en un único lugar (con la certeza de que no existe ningún otro depósito). Si este material se consume a una tasa constante, inevitablemente se agotará. Vale la pena resaltar que este es un caso ficticio de un material del que se desconocen más fuentes de abastecimiento, pero para ejemplificar, supongamos el caso de un banco de roca caliza donde se asentará una empresa cementera y se tiene proyectada una estancia de 20 años antes de extraer toda la materia prima. No se puede contar con la regeneración de este banco de material, teniendo que trasladarse forzosamente a otro al terminárselo.
- Caso de regeneración autónoma: El fundamento de este caso es que la cantidad de un recurso dado crecerá a una tasa que depende de la parte no utilizada por un periodo de tiempo, la cual depende directamente de la cuantía restante de este recurso. Tal es el caso de las especies vivientes debido a actividades como pesca y caza, donde se deben respetar los ciclos de reproducción de las especies entre temporadas de caza para permitir la regeneración de estos en el ecosistema y no comprometer su consumo en el futuro. La tala también es considerada dentro de este rubro, actividad esencial para obtener cimbra.
- Caso de costes crecientes de oferta: Donde un recurso puede pasar a ser puramente agotable en un futuro previsible, incrementando el costo para adquirirlo mientras se acaban las fuentes más baratas para obtenerlo. En este punto se debe hacer hincapié a los combustibles fósiles, el cual se mantienen como principal fuente de energía debido a su rentabilidad, además de que los últimos avances tecnológicos han facilitado la extracción de petróleo desde lugares que en el pasado representaban un reto inalcanzable, pero cuando estos se agoten, se requerirá de una enorme inversión para continuar realizando esta tarea.

La problemática del agotamiento de recursos puede ser abordada desde diferentes puntos, sin embargo, es indiscutible que el centro del problema es la presión que se ejerce sobre ellos por las diferentes naciones tratando de poseerlos. Una solución que se menciona en algunas cumbres relacionadas con el medio ambiente es la creación y diversificación de necesidades. En el caso del petróleo, mientras todos los países desean poseer la mayor cantidad de yacimientos de este material, podrían en su lugar estar invirtiendo en el uso de otras energías que sí sean renovables (solar, eólica, mareomotriz, etc.) para dejar de depender de la reserva de petróleo, que recordemos es finita. Puede que en este momento parezca la opción más rentable, comparado con las fuentes de energía alternativas, pero

esta afirmación sólo será cierta por un periodo de tiempo, ya que debido a la explotación masiva van quedando cada vez menos yacimientos de fácil acceso, de manera que en el futuro será más cara su extracción, por lo que destinar capital desde este momento para el desarrollo de energía limpia, sería la mejor inversión posible.

Es importante recalcar que el desarrollo sustentable no es mutuamente excluyente del crecimiento económico, pero no se debe tratar como un lujo, o como algo extra después de haber alcanzado el desarrollo económico; es decir, no se debe dejar el tema de desarrollo sustentable para cuando se hayan alcanzado otros objetivos complejos, como erradicar la pobreza o alcanzar la justicia social. Al contrario, estos propósitos nunca serán alcanzados en un ecosistema deteriorado cuya capacidad de satisfacer las necesidades de la población ha sido comprometida. "Una sociedad saludable otorga igual atención a la sustentabilidad ecológica, al desarrollo económico y a la justicia social, porque se fortalecen entre sí". (Marten, 2001).

1.3.2.1 Escasez del agua

Hasta ahora la mentalidad que tiene la población se basa en un modelo donde la economía es el factor más importante, lo que más preocupa a sus gobernantes. La sociedad está en un segundo plano, ya que satisfacer las necesidades de la mayoría de los habitantes es menos importante que satisfacer los bolsillos de los empresarios y distribuidores de estos servicios, priorizando a la población que cuenta con más recursos económicos. Y en un tercer lugar está el cuidado al medio ambiente; este tema, si bien es el más importante, es el que menos es tratado ya que para poder satisfacer las necesidades de la población y generar ganancias a partir de esto, se necesita una extracción gigantesca de recursos naturales, que se hace muchas veces sin hacer caso de la legislación vigente, y sin preocuparse por las consecuencias que puede traer a largo plazo.

Este es el caso del bien más valioso que existe en el planeta: el agua. Esta se necesita no sólo para consumo humano, sino para absolutamente todo lo que se produce y en cualquier servicio e industria. Aunque es bien sabido que aproximadamente el 75% de nuestro planeta está compuesto por agua, lo que equivale a un aproximado de 1400 millones de kilómetros cúbicos, lo que realmente está disponible para su uso es menos del 2.5%⁵.

Según el balance hídrico más reciente (febrero de 2023)⁶, la precipitación que recibe México es de 1.5 millones de hm³ por año, de los cuales 72.5% evapotranspira y vuelve a la atmósfera, 21% escurre por ríos y arroyos, y 6.4% se infiltra en el subsuelo y recarga los acuíferos, lo que significa que tenemos disponibles aproximadamente 411,000 hm³ de agua para abastecer a las diferentes industrias y a la población⁷.

El término "escasez del agua" puede resultar a veces confuso, ya que se puede malinterpretar a qué este recurso se está agotando en cantidad. Si bien sí existen

⁵ Datos obtenidos del *Informe de situación de medio ambiente en México* emitido por la SEMARNAT

⁶ Se puede encontrar en la página: SINA. (julio de 2023). *Ciclo hidrológico*. Sistema Nacional Ambiental.

⁷ Dato obtenido de SINA. (julio de 2023). *Ciclo hidrológico*. Sistema Nacional Ambiental.

variaciones de volumen con respecto a algunos años atrás, lo que realmente sucede es que el agua disponible para consumo humano se está contaminando a una velocidad alarmante. Esta no es la única consecuencia, sino que también hay una pérdida de flora y fauna debido al consumo de esta agua contaminada; y ya que esta se mueve de forma cíclica, cambiando de estado gracias a procesos físicos, al ingresar a este ciclo un agua con contaminantes, se generan nuevos fenómenos perjudiciales para la salud, como es el caso de la lluvia ácida.

El agua es un recurso no renovable, lo que significa que no es posible producir más. Actualmente ya hay un gran número de personas que no tienen acceso a este recurso tan valioso, naciones enteras que ya comienzan a notar los estragos de no contar con un volumen suficiente para satisfacer sus necesidades.

Es irónico que son los países en desarrollo los que más resienten estas consecuencias, cuando los que más agua contaminan son los países de primer mundo. Esto se debe sobre todo a la producción masiva que generan, que va de la mano con un segundo factor muy importante: la mentalidad de sus habitantes. Ya se mencionó anteriormente que entre más recursos tenga una persona, más productos va a consumir, y esto aplica de la misma forma para los países. Los habitantes de lugares con menos recursos disponibles consumen menos, y es mucho más probable que reusen o reparen los productos rotos ya que prefieren destinar sus recursos económicos a otros fines; así como tampoco pueden permitirse tener los últimos avances en cuanto a tecnología, moda u otros aspectos.

En cambio, en los países desarrollados se puede encontrar una mentalidad muy diferente, basada en el modelo de economía lineal de "comprar-usar-tirar", lo que involucra mucha más producción y a su vez desechos, que provocan contaminación en los cuerpos de agua.

Grado de Presión de los Recursos Hídricos⁸

Para medir este efecto antropogénico existe un índice o indicador llamado Grado de Presión de los Recursos Hídricos (GPRH). Se trata de un indicador expresado en porcentaje de la sostenibilidad de la extracción de los recursos hídricos. Se define como el cociente entre el agua disponible, y su número de habitantes. Entre más alto sea el valor de este porcentaje, indica una mayor sobreexplotación del recurso. Es aquí donde se hace más notoria la importancia de una buena gestión del uso del agua y en donde se puede apreciar la influencia de la mentalidad de los habitantes en cada país. Por ejemplo,



Figura 1.4: Grados de Presión de Recursos Hídricos 2022.

Fuente: SEMARNAT. (s.f.). Informe de situación de medio ambiente en México.

⁸ Todos los datos e imágenes presentados de este tema fueron obtenidos del *Informe de situación de medio ambiente en México* emitido por la SEMARNAT

en 2015 Arabia Saudita obtuvo un GPRH de 943%, un valor estratosférico si se compara con el GPRH de Colombia (0.5%), o el Congo (0.01%), donde la riqueza económica es mucho menor.

En México, en 2021 registró un valor de 19.2%, ligeramente menor al del 2017 (19.5%). Ambos valores se categorizan como “bajo” según la Conagua. Sin embargo, hay que recordar que este valor es un promedio de todo el territorio nacional, pero eso no significa que el GPRH sea igual en todas las regiones del país. En la Figura 1.4 se puede observar un mapa de la república, donde los estados del sur presentan valores bajos, sin embargo, todos los estados del norte (que representan la parte mayoritaria) tienen valores de medio a muy alto estrés.

Usos Consuntivos del Agua

Cada país asigna diferentes volúmenes de agua a sus diferentes sectores económicos, de acuerdo a sus características particulares; sin embargo, se puede generalizar que es la agricultura la actividad que más consume agua a nivel mundial (con excepción de Europa), posteriormente abastecimiento público, y por último el sector industrial. Las dotaciones asignadas en México a cada uno de los sectores son: 76.3% para agricultura, 14.4% para abastecimiento público y 9.3% a industrial. Este último es en el que se va a profundizar para el propósito de este trabajo, ya que es aquí donde entra la edificación. Conagua establece dos categorías en el sector industrial: industria de generación de energía hidroeléctrica, y todos los demás tipos de industria. Cada uno consume alrededor del 50% de los recursos asignados al sector industrial (4.9% y 4.4% respectivamente), que se extrae principalmente de cuerpos de agua superficial, aunque debido a la creciente demanda, la extracción de aguas subterráneas es cada vez mayor.

Acuíferos sobreexplotados

Para 2018 ya existían 115 acuíferos sobreexplotados en el país, el equivalente a 18% de todos los existentes. La mayoría de estos (103) se localizan en 5 de las 13 regiones hidrológico-administrativas, como es de esperar, son en las que se encuentran los estados con mayor GPRH e intensidad de uso. Algunos de estos cuerpos de agua además presentan problemas de intrusión marina, lo que ocasiona salinización. En 2018 ya existían 32 acuíferos con este problema.

Indicadores de calidad del agua

El papel de la Ingeniería Civil en la extracción de los recursos hídricos es muy grande, somos los que diseñan los sistemas de extracción (que generalmente son impulsados con equipos de presión), así como todo el sistema de abastecimiento y alcantarillado. Una vez que el agua ha sido utilizada e ingresa al sistema de alcantarillas, se dirige hacia una de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, que también diseñan los ingenieros civiles, donde se filtra y se mide la calidad del líquido. Esto se hace para asegurar que su reingreso a los cuerpos de agua no va a ocasionar contaminación parcial, o inclusive la pérdida total de ese acuífero.

Existen diferentes límites permisibles dependiendo del indicador que se esté midiendo. Estos límites se establecen en la NOM001-SEMARNAT-202, tal como se indica en las Tablas 1.1 y 1.2:

Parámetros (*) (miligramos por litro, excepto cuando se especifique)	Ríos, arroyos, canales, drenes			Embalses, lagos y lagunas			Zonas marinas mexicanas			Suelo								
	P.M	P.D.	V.I.	P.M	P.D.	V.I.	P.M	P.D.	V.I.	Riego de áreas verdes			Infiltración y otros riegos			Cárstico		
										P.M	P.D.	V.I.	P.M	P.D.	V.I.	P.M	P.D.	V.I.
Temperatura (°C)	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
Grasas y Aceites	15	18	21	15	18	21	15	18	21	15	18	21	15	18	21	15	18	21
Sólidos Suspendidos Totales	60	72	84	20	24	28	20	24	28	30	36	42	100	120	140	20	24	28
Demanda Química de Oxígeno	150	180	210	100	120	140	85	100	120	60	72	84	150	180	210	60	72	84
Carbono Orgánico Total*	38	45	53	25	30	35	21	25	30	15	18	21	38	45	53	15	18	21
Nitrógeno Total	25	30	35	15	25	30	25	30	35	NA	NA	NA	NA	NA	NA	15	25	30
Fósforo Total	15	18	21	5	10	15	15	18	21	NA	NA	NA	NA	NA	NA	5	10	15
Huevos de Helmintos (huevos/litro)	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	1								
<i>Escherichia coli</i> , (NMP/100 ml)	250	500	600	250	500	600	250	500	600	250	500	600	250	500	600	50	100	200
Enterococos fecales* (NMP/100 ml)	250	400	500	250	400	500	250	400	500	250	400	500	250	400	500	50	100	200
pH (UpH)	6-9																	
Color verdadero	Longitud de onda									Coeficiente de absorción espectral máximo								
	436 nm									7,0 m ⁻¹								
	525 nm									5,0 m ⁻¹								
	620 nm									3,0 m ⁻¹								
Toxicidad aguda (UT)	2 a los 15 minutos de exposición																	
<p>N.A: No Aplica P.M: Promedio Mensual P.D: Promedio Diario V.I: Valor Instantáneo NMP: Número más probable UpH: Unidades de pH UT: Unidades de Toxicidad * Si Cloruros es menor a 1000 mg/L se analiza y reporta DQO. * Si Cloruros es mayor o igual a 1000 mg/L se analiza y reporta COT. * Si la conductividad eléctrica menor a 3500 µS/cm se analiza y reporta <i>E. coli</i>. * Si la conductividad eléctrica es mayor o igual a 3500 µS/cm se analiza y reporta Enterococos fecales. Las determinaciones de Conductividad eléctrica y de Cloruros no requieren la acreditación y aprobación de la entidad correspondiente.</p>																		

Tabla 1.1: Límites permisibles de parámetros básicos.
Fuente: NOM-001-SEMARNAT

Parámetros (miligramos por litro)	Ríos, arroyos, canales, drenes			Embalses, lagos y lagunas			Zonas marinas mexicanas			Suelo								
										Riego de áreas verdes			Infiltración y otros riegos			Cárstico		
	P.M.	P.D.	V.I.	P.M.	P.D.	V.I.	P.M.	P.D.	V.I.	P.M.	P.D.	V.I.	P.M.	P.D.	V.I.	P.M.	P.D.	V.I.
Arsénico	0,2	0,3	0,4	0,1	0,15	0,2	0,2	0,3	0,4	0,2	0,3	0,4	0,1	0,15	0,2	0,1	0,15	0,2
Cadmio	0,2	0,3	0,4	0,1	0,15	0,2	0,2	0,3	0,4	0,05	0,075	0,1	0,1	0,15	0,2	0,05	0,075	0,1
Cianuro	1	2	3	1	1,5	2	2	2,50	3	2	2,5	3	1	1,50	2	1	1,5	2
Cobre	4	5	6	4	5	6	4	5	6	4	5	6	4	5	6	4	5	6
Cromo	1	1,25	1,5	0,5	0,75	1	1	1,25	1,5	0,5	0,75	1	0,5	0,75	1	0,5	0,75	1
Mercurio	0,01	0,015	0,02	0,005	0,008	0,01	0,01	0,015	0,02	0,005	0,008	0,01	0,005	0,008	0,01	0,005	0,008	0,01
Níquel	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4
Plomo	0,2	0,3	0,4	0,2	0,3	0,4	0,5	0,75	1	0,5	0,75	1	0,2	0,3	0,4	0,2	0,3	0,4
Zinc	10	15	20	10	15	20	10	15	20	10	15	20	10	15	20	10	15	20
Parámetros medidos de manera total	P.M: Promedio Mensual P.D: Promedio Diario V.I: Valor Instantáneo																	

Tabla 1.2: Límites permisibles de metales y cianuros
Fuente: NOM-001-SEMARNAT

Estas son breves descripciones de lo que algunos de los indicadores mencionados arriba ayudan a determinar:

- **DQO (Demanda Química de Oxígeno):** mide la materia orgánica que es posible se oxide por medios químicos. Al igual que con la DBO5, una concentración alta reduce el contenido de oxígeno en el agua.
- **SST (Sólidos Suspendidos Totales):** mide la cantidad de partículas coloidales en el agua, estas generalmente provienen de las aguas residuales, pero también puede ser que se desprendan por la erosión del suelo en las cuencas. Le provocan un color turbio al agua, lo que reduce la cantidad de luz solar que penetra, impidiendo el desarrollo de las plantas y afectando así toda la biodiversidad del ecosistema.
- **Carbono orgánico total:** determina la contaminación por materia orgánica. Aunque no siempre es tóxica, las consecuencias de la presencia de cantidades grandes de esta es que cataliza la proliferación de microorganismos que consumen el oxígeno disuelto en el agua, causando la muerte de flora y fauna en el acuífero por asfixia.
- **Nitrógeno y Fósforo totales:** Un exceso de estos elementos en el agua afecta la capacidad de respirar de la fauna que la habita, reduce la visibilidad dentro del líquido y ayuda a que las algas proliferen tan rápido que los ecosistemas se ven alterados al no poder lidiar con tal cantidad.
- Los huevos de helmintos, Escherichia coli y enterococos fecales son aquellos microorganismos o huevos de parásitos que representan un riesgo para la salud humana.
- **pH:** Concentración de iones Hidrógeno expresada como logaritmo negativo que representa la acidez o alcalinidad del agua.
- **Color verdadero:** Es el color de la muestra debido a sustancias en forma disuelta, se mide en la muestra una vez que se eliminaron los sólidos suspendidos y pseudo coloidales para ello la muestra será filtrada o centrifugada.

- **Unidad de toxicidad:** Forma de expresar el grado de toxicidad de una muestra de la cual no se conoce la concentración de las sustancias que contiene. Es aplicable a descargas y mezclas de agua residual complejas. Se calcula: $UT = 100 / CE50$. En donde 100 es la concentración inicial de la muestra referida en por ciento.

La escasez del agua es solo un ejemplo de los muchos problemas de agotamiento de recursos a los que nos enfrentamos hoy en día, y requiere de una acción inmediata no sólo en las técnicas de extracción y disposición, sino de un cambio en la mentalidad consumista, culpable de la gigantesca demanda productora y la contaminación generada por esta.

Esta mentalidad se sostiene gracias a que las políticas públicas no ayudan a dimensionar el problema de la escasez. Para el caso del agua es simple de explicar, ¿por qué se paga lo mismo por el agua potable en época de sequía que en una de lluvia? Partiendo de esta pregunta, se pueden idear medidas muy inteligentes para la gestión del agua.

Recordando la ley de la demanda y la oferta, si aumentamos el precio del agua en una época de escasez, la ley nos dice que tendrá una demanda menor, pero al tratarse de un recurso vital para las actividades diarias del hombre, lo que nos interesa no es reemplazar su uso, sino incidir en una tendencia ahorrativa para aprovechar lo más posible el agua, sin buscar negarle el agua a la población (debido a que sería una falta contra el artículo 4, párrafo 6, de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, donde se reconoce el derecho humano al agua). Para garantizar el acceso al agua la respuesta no es convertirla en un servicio subsidiado más, todo lo contrario, se debe hacer entender a la población que no puede gastar la misma cantidad de agua en cualquier época del año (considerando también a los consumidores de todos los sectores económicos que generen productos y servicios).

Este tipo de iniciativas han sido posibles gracias al involucramiento de la inversión privada, donde desde finales del siglo XX, regiones de países como Argentina, Camboya, Chile, China, Filipinas, Guinea y Marruecos se han visto beneficiadas, al ser conectadas a una red de agua por un ente ajeno del gobierno.⁹

Actualmente existe una alta difusión del mensaje sobre que los gobiernos deberían hacerse cargo en su totalidad de la distribución y suministro de agua (la cual sucede, en un 97% de los países en desarrollo). Sin embargo, sigue habiendo millones de personas sin acceso al agua, y no le es posible sólo esperar a que la adecuada política pública se establezca para atender sus necesidades. Por lo cual existe gente realmente beneficiada por este abastecimiento a través de un medio privado, los cuales proveen de tarifas accesibles y dinámicas según el contexto, y donde además prácticamente se elimina el riesgo de mortalidad por fuentes de agua contaminada.

Según una frase de Mahatma Gandhi: “La Tierra provee lo suficiente para satisfacer las necesidades de todos, pero no tanto como para satisfacer la avaricia de algunos”. Lo que nos lleva a pensar que las grandes industrias son las que mayor cantidad de agua utilizan

⁹ Segerfeldt, F. (2005). Water For Sale: How Business and the Market Can Resolve the World's Water Crisis. Cato Institute.

en sus actividades, siendo la agricultura y el abastecimiento público las que tienen una participación mayor. Las campañas anti privatización del agua aseguran que el sector privado elevaría los costos del agua a una tarifa inalcanzable por las personas pobres, pero los casos de privatización de este recurso, analizados por el activista sueco Fredrik Segerfeldt, desmientan esta premisa, y en su lugar afirman que el mantener precios bajos lejanos a la realidad promueven la escasez del agua, derivada del desperdicio.

Existe por ejemplo, el caso de Chile, donde se introdujo la propiedad privada del agua en la década de 1980, incrementando en 348% el acceso al agua en zonas rurales, pasando de 27% a 94%, donde como consecuencia, la población no tenía el freno de esta escasez y pudo aumentar su productividad, competitividad y crecimiento, haciendo cada vez más asequible el acceso al agua por medios privados, en lugar de adquirirla por medios no regulados y que son por lo menos 10 veces más costosos que el agua de las redes, las cuales se mantienen con bajo precio gracias a sus contribuciones fiscales, pero sin recibir verdaderamente este bien.

La mejor forma para que esta iniciativa se logre sin abusos es controlando los aumentos anuales de precios, permitiendo que existan múltiples proveedores privados de agua y estos compitan en un mercado de tipo competencia perfecta, donde por el número de empresas vendedoras, cada una vende y representa una pequeña parte del total del mercado y, por lo tanto, no puedan unas pocas influir en el aumento desmedido de los precios ni existan barreras de entrada para las empresas que busquen participar. Esto siempre con la alternativa de la remunicipalización por incumplimiento de los puntos anteriores. “El movimiento en contra de la privatización dice que el agua es un derecho humano que sólo los gobiernos pueden proveer. El problema es que no pueden. Las compañías de agua con habilidades, incentivos, capital, y tecnología están mucho mejor equipadas para proveer agua a las personas.” (Segerfeldt, 2005).

Otro problema al que se enfrenta México es la falta de mantenimiento en el sistema de abastecimiento. Estudios hechos por la CONAGUA registran pérdidas físicas de entre 40% y 60%, mientras que en Europa es de 20%, y en países como EE.UU. y Canadá del 15%. Es muy costoso llevar agua a todos los ciudadanos hasta la comodidad de su hogar, el sistema es muy propenso a tener defectos que se traducen en fugas donde existen estas pérdidas físicas, por lo que no existe manera en que exista política pública que pueda proveer de agua gratuita a sus ciudadanos y reparar estos desperfectos en las líneas de conducción. Aunque aumentar el precio del agua cuando la situación hidrometeorológica no sea favorable, es una gran opción que permite además invertir en la infraestructura necesaria para la conducción, tratamiento y prevención del agotamiento de este recurso invaluable. El hecho de pagar costos financieros relativamente bajos, no quiere decir que los costos ambientales igualmente lo sean.

En este contexto, en 2020 fue presentada la Iniciativa con Proyecto de Decreto por el que se expide la Ley General de Aguas y se abroga la Ley de Aguas Nacionales. Esta iniciativa plantea diferentes estrategias e instrumentos para el mantenimiento de las instalaciones hidráulicas. Una de estas estrategias es el considerar como acto violatorio del Derecho Humano al Saneamiento la falta de operación y mantenimiento de la infraestructura; así

como se deberá hacer obligatorio contar con una Norma Oficial Mexicana que determine un método con el que calcular un costo integral por la provisión del agua.

En esta iniciativa también se reconoce la corresponsabilidad de los usuarios en la prestación de los servicios públicos para con el mantenimiento de las instalaciones hidráulicas, a través del pago oportuno del servicio, el reporte de desperfectos como fugas, malos olores, taponamientos, etc., así como un uso responsable y ahorrativo del agua.

1.3.2.2 Fuentes de energía alternativa

Otro ejemplo de la escasez de recursos que ya se está comenzando a notar a nivel mundial es la disminución de los combustibles fósiles. Estos han sido la fuente de generación de energía eléctrica y calorífica más utilizada desde la Revolución Industrial, pero actualmente presentan varios problemas de contaminación y se ha comprobado que no podrán seguir utilizándose de forma infinita. Además, tiene el grave problema de que emite muchos tipos de gases invernadero a la atmósfera, de los cuales se distingue el CO₂ por ser el de mayores números, por lo que de igual forma es el más estudiado. Para fines de este trabajo, se entenderán como combustibles fósiles el petróleo, el gas natural y el carbón.

Hay muchas desventajas en torno a los combustibles fósiles, empezando por el hecho de que su disponibilidad en el mundo es limitada, y los yacimientos de donde se pueden extraer se encuentran únicamente en una cierta cantidad de países. Esto representa un problema porque puede que su comercio se encuentre monopolizado por otro país, como es el caso de México y Estados Unidos; y tampoco se puede descartar que estos países pueden entrar en conflictos armados, tanto en guerras civiles como con otras naciones.

El hecho que mejor representa estas desventajas es la Crisis Energética que actualmente se está dando en Europa. Entre enero de 2021 y agosto del 2022, el precio total de la electricidad se multiplicó 10 veces, y el del gas natural 5 veces. Lo cierto es que este último se utiliza mucho más que el carbón o el petróleo en el contexto europeo. Las razones que desencadenaron este conflicto son multifactoriales.

No es un secreto para nadie que las condiciones climatológicas de nuestro planeta se comportan de forma cada vez más errática debido a la contaminación, lo que ha significado temperaturas más extremas a nivel global. Los últimos veranos en Europa han sido excesivamente calurosos, en 2023 se registró la temperatura superficial diaria más alta de la historia y el mes más cálido en general. La canícula de tres meses, de junio a agosto, registró un aumento de 0.66 grados con respecto al promedio histórico; la tendencia del aumento de temperatura en Europa se puede observar en la Figura 1.5. Por su parte, agosto se calcula que fue 1.5°C más caluroso que la temperatura promedio del periodo 1850-1900.

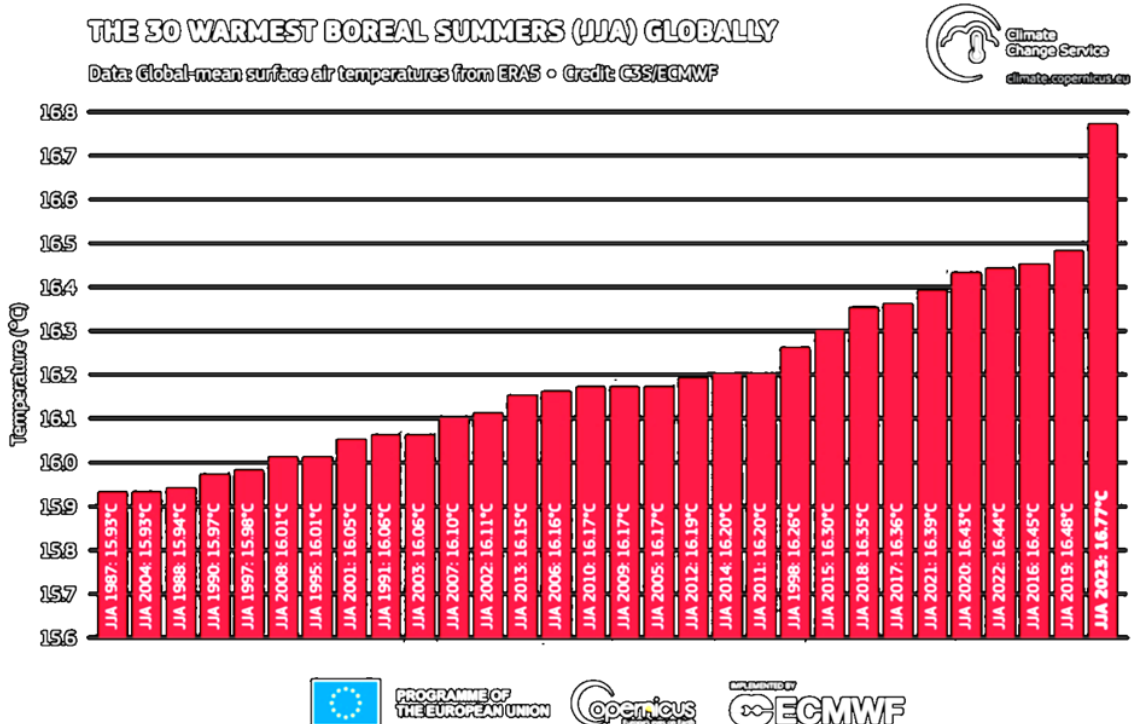


Figura 1.5: Tendencia de la temperatura en Europa.

Fuente: Servicio de Cambio Climático en Europa.

Este cambio en la temperatura fue lo que originó una falta de viento y agua que disminuyó las inversiones (que de por sí ya eran pequeñas) para la utilización de fuentes de energía renovables, y en su lugar aumentando la demanda del gas natural para mantener el aire acondicionado o la calefacción.

Si bien esta fuente es considerada por muchos como una alternativa limpia frente al petróleo o el carbón, debido a que sus emisiones de gases de efecto invernadero son mucho menores, los impactos causados por su extracción, la construcción de los gasoductos, y las emisiones de metano, lo hacen una opción no mucho mejor que los otros combustibles fósiles.

Todo esto se dio justo en medio de una transición energética que estaba viviendo Europa en ese momento, donde los países miembros acordaron aumentar las multas por uso de combustibles fósiles y gas natural, con el propósito de buscar fuentes alternativas más limpias para poder cumplir los objetivos de emisiones en sus planes de sustentabilidad, pero sin ninguna estrategia establecida para conseguirlo. Como consecuencia, lo único que consiguieron fue seguir aumentando el precio del gas natural.

Al haber sólo cierto número de países que pueden ofertar combustibles fósiles, siempre hay un riesgo de que se desaten conflictos geopolíticos que amenacen la relación comercial, y en Europa ocurrieron dos casi al mismo tiempo: la ruptura de relaciones políticas con Marruecos, con la consecuencia de que Argelia dejó de suplir su parte de gas natural, y la

invasión de Rusia a Ucrania. Esta última fue de especial importancia considerando que Rusia administraba el 45% de gas a toda Europa, y que los países miembros de la UE decidieron de manera súbita dejar de comprarle combustible, sin ninguna otra fuente disponible en ese momento, provocando un desabasto importante.

Estos tres motivos, la creciente demanda de gas natural por las temperaturas extremas, la imposición de sanciones por el uso de este, y el corte súbito del suministro ruso, sumado a una ausencia de política energética común entre los países miembros de la UE, desencadenaron una crisis que demostró que la actual estructura energética es incompatible no sólo con un desarrollo sostenible, sino con la organización y necesidades actuales de la población. Entre las consecuencias de esta crisis están el desabasto a nivel continental, enfermedades en la población, aumentos nunca antes vistos en el precio de la electricidad, y, como consecuencia de esto, el cierre y traslado de varias industrias, en busca de establecerse en países donde la energía fuera más accesible.

La construcción es una de las industrias que se encarga de la generación de energía, ya que los ingenieros civiles son los responsables de construir la infraestructura con la que se va a generar, teniendo en cuenta las necesidades de cada fuente, así como la demanda que es necesario abastecer. La propia industria edificadora demanda una cantidad muy significativa de esta energía producida, en 2021 representó el 37% de la demanda mundial, 4% más que en el 2020 y casi 3% más que el más grande pico que se había registrado, en 2019, entre lo que consumen los edificios y la producción de materiales.

El análisis de cómo se comportó la demanda energética en los dos últimos años presenta un panorama complejo, ya que, con la pandemia de COVID-19 de 2020, esta continúa fluctuando de formas nunca antes vistas. Durante el tiempo de la pandemia hubo un paro total de actividades de construcción y casi toda la demanda provenía de las unidades habitacionales, ya que la mayoría de los edificios de oficinas estaban cerrados, o con una afluencia de personas muy baja, cuando anteriormente la demanda estaba mucho más diversificada entre oficinas y hogares. Debido a esto hubo una baja considerable en la demanda energética total. En 2021, cuando las actividades comenzaron a retomarse, se vio un aumento en esta demanda, con un porcentaje de participación de los edificios de oficinas mucho mayor. Y ahora, en 2022, el panorama que se presenta es de nuevo diferente, ya que muchas empresas han tomado la decisión de trabajar de forma híbrida, por lo que la demanda está siendo mayor, tanto en las viviendas como en las oficinas.

En el documento llamado “Global Status Report for Buildings and Construction” (Informe sobre la situación mundial de los edificios y la construcción) publicado cada año por el Global Alliance for Buildings and Construction, en colaboración con las Naciones Unidas, se encuentra la gráfica que se aprecia en la Figura 1.6, que describe de forma más específica la cantidad de energía demandada por cada sector en la industria constructora.

El repunte de emisiones de CO₂ por la generación de energía eléctrica en 2022 demuestra que la reducción que sucedió en el 2020 fue un caso atípico derivado de la pandemia y que se trataba de algo temporal, no de una mejora en el sistema estructural de la utilización, lo que lo deja vulnerable a factores externos como la inflación, cambios de temperatura, etc.

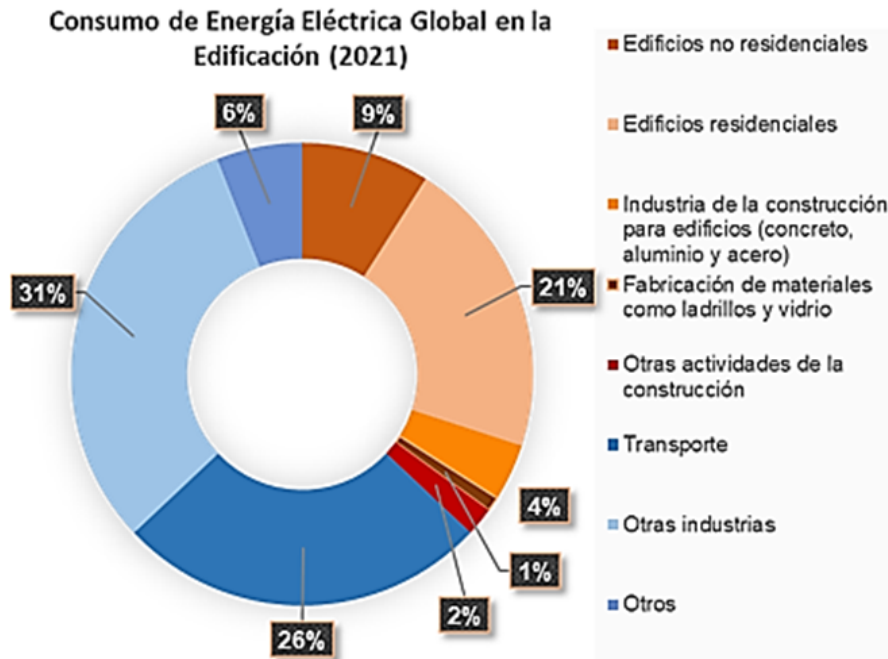


Figura 1.6: Consumo Global de Energía Eléctrica en la Edificación 2021.

Fuente: Elaboración propia, basado en el 2022 Global Status Report for Buildings and Construction

Una vez expuestas todas estas limitaciones y consecuencias ambientales que traen consigo los combustibles fósiles, se comprende el por qué es imperioso tratar de sustituir estas fuentes por otras más limpias y seguras, las llamadas *energías renovables*, definidas como:

“Fuentes primarias de energía que, de forma periódica se renuevan a través de ciclos naturales, por lo que se pueden considerar inagotables; es decir, se renuevan de forma continua, en contraposición con los combustibles fósiles de los que existen unas determinadas reservas agotables en un plazo de tiempo cierto; estas fuentes renovables de energía se pueden aprovechar mediante su transformación en energía útil” (STEADMAN).

Se les llama limpias no porque carezcan de impactos ambientales negativos, sino porque estos son mucho más localizados y de menor dimensión, así como una ausencia de emisiones de CO₂, y los residuos que producen no son de difícil tratamiento. Existen varias fuentes de energía limpia, pero las reconocidas por la Ley de la Industria Eléctrica en México, y que son del interés del presente trabajo, son las siguientes:

- a) El viento
- b) La radiación solar en todas sus formas
- c) La energía oceánica en sus diferentes formas: maremotérmica, proveniente de olas, de las corrientes marinas y del gradiente de concentración de sal
- d) El calor de los yacimientos geotérmicos
- e) La energía proveniente de centrales hidroeléctricas
- f) La energía nucleoelectrica
- g) La energía generada con los productos del procesamiento de esquilmos agrícolas o residuos sólidos urbanos (como gasificación o plasma molecular), cuando dicho procesamiento no genere dioxinas y furanos u otras emisiones que puedan afectar a

la salud o al medio ambiente y cumpla con las NOM que al efecto emita la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

Aunque todas estas proceden de diferentes procesos o recursos naturales, todas están relacionadas, o se originaron a partir de la energía solar, inclusive los combustibles fósiles, ya que también ésta fue almacenada por los seres vivos y gracias a su actividad metabólica se transformó en energía química, esto es porque la energía no se crea ni se destruye.

Para octubre del 2020, según el Reporte de Avance de Energías Limpias por la Secretaría de Economía, el porcentaje de participación de estas energías para México fue de 25.5%, mientras el resto provino de energías convencionales. A continuación, se describirán brevemente cada una de ellas, así como su participación respecto al total de energía limpia generada:

Energía Solar, 20.77%

Se puede aprovechar la radiación electromagnética proveniente del sol de dos formas: para producir energía calorífica o eléctrica. La primera se utiliza de forma directa, captando el calor de los rayos solares, y puede ser utilizada para calentadores de agua. La eléctrica, por su parte, puede ser pasiva, donde no se tiene que instalar ningún dispositivo y más bien se debe analizar desde el diseño del edificio (como los muros que retienen el calor); y activa, donde se necesitan instalar paneles fotovoltaicos, que tienen la desventaja de ser costosos en su instalación, pero son de fácil utilización, bajo mantenimiento, y la luz solar es un recurso gratuito e inagotable. Su eficiencia es de alrededor del 20%, y se puede utilizar de forma particular (casa habitación), para edificios o incluso centrales enteras.

Energía Eólica, 28.44%

Producida por el viento, que es el aire en movimiento originado por el calentamiento uniforme de la superficie terrestre debido al sol. Esta se puede utilizar para generar electricidad, y su ventaja principal es que los molinos son baratos y pueden ser remotos, lo cual los hace el instrumento ideal para llevar energía a lugares aislados donde la red no alcanza. En varios países ya se han instalado los llamados “parques eólicos”, que funcionan como plantas de generación, especialmente porque es la segunda fuente más barata, solamente después de la hidráulica, y esta última requiere de mucho más espacio para sus instalaciones. Tiene una eficiencia del 40%.

Energía Hidráulica, 42.40%

Se genera a partir de la energía potencial que se produce por la caída de un caudal de agua, gracias a las turbinas y generadores involucrados en el proceso. Los factores de los que depende la cantidad de energía que se va a producir son la altura de la caída, el salto o desnivel y el caudal del agua. Estos saltos se pueden encontrar en la naturaleza, pero también pueden ser contruidos artificialmente; si bien es cierto que esta fuente no genera emisiones de CO₂, si se produce una alteración en los ecosistemas acuáticos.

Esta es la fuente limpia que más se utiliza actualmente, generando poco menos del 10% de la producción mundial, y esta cifra no tiene muchas posibilidades de aumentar en el futuro, debido a que hay un límite del número de cauces que tienen las condiciones de volumen,

salto y caudal (se necesita una velocidad específica, así como estabilidad de fluencia) que se requieren para la generación de energía. Tiene una eficiencia del 90%.

Energía Geotérmica, 7.10%

Si se extraen los fluidos almacenados en la corteza, se puede aprovechar el calor impuesto en ellos directo desde el núcleo de la Tierra. Los lugares de donde se extraen son llamados yacimientos geotérmicos, y los fluidos deben estar a una temperatura de más de 150 °C para producir energía de forma directa, entre 100 y 150 °C de forma indirecta, como calefacción. Es especialmente útil para las industrias minera y textil. Tiene el mismo problema que la hidráulica, no produce emisiones pero sí alteraciones físicas en el ecosistema, se producen cambios en los cursos de las corrientes fluviales y en el suelo por los sondeos y las perforaciones.

Energía de la Biomasa, 1.30%

Se puede producir energía a partir de la quema de recursos orgánicos, estos son llamados biomasa. Esta fuente ha probado no sólo no generar contaminación, sino que puede regenerar algunos aspectos de los ecosistemas. La combustión de la biomasa vegetal reduce el efecto invernadero, además de que evita su quema in situ (lo que muchas veces genera incendios), entre otros. También ha probado ser una fuente perfecta para plantas de cogeneración (donde se produce simultáneamente calor y electricidad). Esta forma de generar energía no es nada nueva, el primer sistema comercial de producción de gas partiendo del estiércol fue desarrollado en Exeter, Inglaterra, en 1895, y se utilizó para iluminar las calles. Tiene una eficiencia de 1 a 2%, pero se espera que mejore en el futuro, aunque eso significaría hacer plantíos para conseguir los recursos orgánicos, compitiendo así por la tierra fértil contra la producción de alimentos.

Energía Nuclear

La energía se libera de las reacciones físis entre núcleos atómicos de ciertos elementos. Esta energía se almacena y se transforma en energía eléctrica. Es considerada la más limpia y la segunda más segura (sólo después de la solar). Ha demostrado ser de las de mejor rendimiento, ya que su combustible tiene una gran densidad energética, lo que significa que utiliza menos combustible para producir una unidad de energía, lo que también significa menos residuos y nada de emisiones de gases de efecto invernadero.

En el mundo existen 427 reactores nucleares, y hay países en donde esta energía ya supera el 10% de la producción total, siendo Francia donde más se utiliza, con alrededor del 70% de participación. México cuenta con el 3.63% de participación de la energía neta total, con sólo dos reactores nucleares en una sola planta, ubicada en Laguna Verde, Veracruz, los cuales son propiedad de CFE y son calificados por el Estado como una fuente segura y limpia de energía, del cual busca seguir desarrollando su utilización,¹⁰ clasificada como una energía limpia no renovable por la Secretaría de Energía.

¹⁰ Datos obtenidos de Alonso, G., Ramón Ramírez, J., & Palacios, J. C. (agosto de 2011). *Energía nuclear en México, como alternativa para la reducción de emisiones de CO2*. SciELO.

Otra de sus ventajas es que las plantas nucleares son completamente independientes del clima, y pueden funcionar por largos periodos de tiempo. Por otra parte, su desventaja es que pasar de energía nuclear a calor conlleva muchas pérdidas por principios físicos. Aún así, es una de las mejores candidatas para tener una mayor participación en la diversificación de la energía, así como para cumplir los objetivos de desarrollo en energía, salud, producción de alimentos, gestión del agua, entre otros, que contribuyen para cumplir 9 de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Conclusiones

En 2011, México contaba con 24.9% de capacidad efectiva instalada de energías renovables (18.4% corresponde a grandes hidroeléctricas y 2.24% a energía nuclear). En 2020 este porcentaje creció a 31% y se tiene contemplado que para 2026 llegue a 35%¹¹. Este aumento de inversión en energías renovables demuestra que invertir en eficiencia energética es una manera de evitar la volatilidad de precios del futuro y también de reducir las emisiones.

Un estudio realizado en 2010 por el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares dice que para cumplir con los objetivos de la Estrategia Nacional de Energía para que el país se abastezca de 35% de energías renovables, se necesita construir 6 reactores nucleares similares a los existentes y que haya un 50% de participación del resto de energías (eólica, solar, hidráulica, etc.).

Para lograr esto aún faltan estrategias concretas y mucho más eficientes, que no solamente tomen en cuenta el cómo de la generación de energía, sino también la planificación de la infraestructura que va a ser necesaria para almacenarla y transportarla.

Como es sabido, las sociedades suelen tener a la mayor parte de su población en aglomeraciones urbanas, las cuales ocupan relativamente poco del territorio disponible. Según un estudio realizado en 2017 por el Programa de Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos (ONU Habitat), para 2030 el 83.2% de la población mexicana estará concentrada en ciudades.¹²

Es vital tener en cuenta esta consideración, ya que las ciudades deben asumir un rol de impulsoras de eficiencia energética y adaptación de fuentes de energía no convencionales, abasteciendo a la población que en ellas alberga y que representa un punto de contaminación muy grande. Posteriormente es posible expandir este alcance a zonas fuera del área metropolitana y que pertenecen al sector residencial, con el adecuado análisis y adopción de medidas.

Así pues, las prácticas en materia energética y de ahorro de recursos que adopte la edificación que constituye una ciudad resulta fundamental, por ello es necesario indagar en

¹¹ Dato obtenido de SENER. (2012). *Prospectiva de energías renovables 2012-2026*. Gobierno Federal

¹² Dato obtenido de *Tendencias del desarrollo urbano en México*. (20 de junio de 2017). ONU HABITAT.

soluciones rentables y sustentables contra la crisis ambiental y económica que hemos vivido por décadas, de las cuales la esta industria ha participado activamente.

1.3.3 Impactos Ambientales de la Construcción

Todos los países requieren de infraestructura, y año tras año se hace una gran inversión en este sector económico en la búsqueda de técnicas más modernas y automatizadas para edificar. La construcción en México representa alrededor del 7% del PIB¹³, por lo que es considerada de las industrias con más alto impacto económico en el país, ya que, además de ser necesaria para satisfacer las necesidades de la población, constituye una condición básica para mejorar la competitividad empresarial.

Considerando la siguiente gráfica en la Figura 1.7 con datos estadísticos de crecimiento demográfico proporcionada por el INEGI:

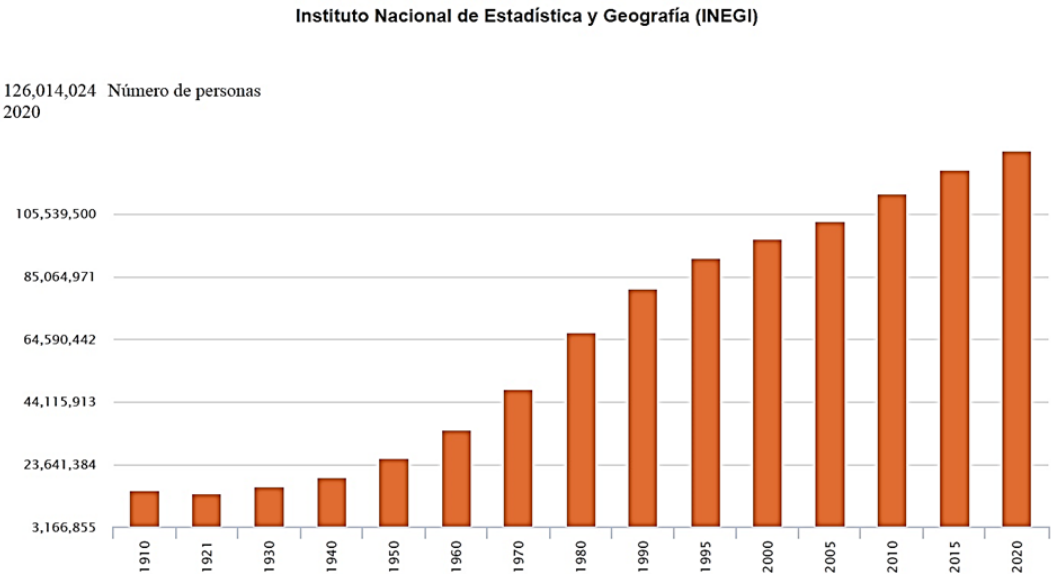


Figura 1.7: Crecimiento demográfico en México de 1910 a 2020.

Fuente: INEGI. Indicadores Sociodemográficos de México: Población Total (1910-2020)

Se observa que en 1910 habitaban en México alrededor de 15 millones de personas. Para 2020 esta cifra llegó hasta 126 millones, lo que significa que en poco más de 100 años aumentó más de 8 veces. Esta explosión demográfica es un catalizador para las obras de construcción, ya que significa que más personas necesitan donde vivir, centros de entretenimiento, escuelas, hospitales, etc., lo que pone más presión sobre los recursos naturales disponibles. Este es sólo el ejemplo de un país, pero si pensamos en los 8 mil millones de habitantes en el mundo, no es sorprendente que las reservas de los recursos naturales estén descendiendo a una velocidad alarmante, especialmente si se toma en consideración que la mitad de esta cifra (aproximadamente 4 mil millones de personas) vive en ciudades, y se prevé que este número aumente a 5 mil millones para el año 2030¹⁴.

¹³ Según el *Análisis del Sector Construcción*. (2020) Elaborado por Grupo financiero Monex

¹⁴ Según el punto número 11 del Acuerdo de París, 2015.

Puede que la Tierra nunca estuviera preparada para albergar a un número tan grande de una especie que consume tanto de estos recursos, como lo hacemos los seres humanos.

La construcción en particular tiene un gran número de impactos en el entorno, hay algunos que son de consecuencia inmediata, como es el caso de los ruidos y la iluminación, o los que tienen repercusiones que pueden durar meses, sino es que años, consecuencia de la capacidad para modificarlo física y químicamente. Todos estos impactos, al ser negativos, son considerados como contaminación, y su alcance es tan extenso, que en los informes y bibliografía donde se habla del tema se ha decidido dividir en diferentes rubros para poder medir de mejor manera el verdadero efecto de estas actividades, las cuales se describirán en el siguiente apartado.

1.3.1.1 Contaminación

Para poder tener un panorama completo del papel que juega la industria de la construcción en ámbito ecológico, es necesario entender que no sólo se trata de la contaminación generada por los procesos constructivos per sé, sino que se necesita considerar el efecto producido por la extracción y fabricación de los materiales que se ocupan, la distribución de éstos, así como todos los residuos generados durante estas etapas y la forma en la que se transportan, así como su disposición final.

Las ciudades, donde se concentra la mayor parte de la población mundial, ocupan solamente el 3% del espacio en el planeta, pero consumen entre el 60% y 80% de la energía eléctrica, y producen el 75% de las emisiones de CO_2 que se liberan a la atmósfera.¹⁵

Una de las razones por las cuales estas urbanizaciones contribuyen tanto a la contaminación mundial es por el continuo cambio en el que se encuentran. Ninguna ciudad en el mundo permanece igual en ningún momento, siempre hay un nuevo proyecto de infraestructura en desarrollo, ya sea un complejo habitacional, un hospital, un estadio, etc. La construcción de edificios en ciudades (sin contar la construcción de casas, monumentos, ni pavimentación de calles) demanda 50% de la producción total de cemento y 30% de la de acero, dos materiales cuyas industrias son responsables de una gran cantidad de emisión de gases invernadero, específicamente CO_2 .

Esto apenas representa uno de los efectos causados por la etapa más temprana de la construcción (la extracción y fabricación de materiales), pero un proceso constructivo tiene otras etapas con diferentes impactos que demandan distintos recursos. Esto queda mejor representado en la Tabla 1.3.

¹⁵ Datos obtenidos del Podcast "Arquitectura Sostenible". (2021). Spotify

Actividades	Recursos necesarios	Agentes resultantes
Uso de maquinaria para preparación del terreno y cimentación	Combustible, agua, concreto, varillas de acero	Polvo de construcción, emisión de gases, ruidos, vibraciones
Armado y colado de la estructura	Energía eléctrica, agua, concreto, varillas de acero, cimbras (madera generalmente), pintura, desmoldante	Ruido, residuos de metal, residuos peligrosos (los botes de desmoldante, de pintura), residuos de la cimbra
Cubiertas	Láminas asfálticas, pintura impermeabilizante, energía eléctrica	Vapores de asfalto, residuos bituminosos
Mampostería	Agua, ladrillos, cal, cemento, mortero, pintura, marcos de madera	Residuos peligrosos (botes de pintura), sacos vacíos de cemento, mortero, envolturas de plástico, residuos de marcos de madera
Instalación de pisos	Ladrillos, cal, cemento, pinturas, mosaicos cerámicos, agua	Ruidos, residuos de mosaicos, polvo, empaques de plástico y cartón, sacos vacíos de cal, botes de pintura
Limpieza de escombros	Agua y energía	Polvo, escombros no peligrosos, residuos de construcción y demolición

Tabla 1.3: Recursos necesarios y agentes resultantes según tipo de actividad constructiva.

Fuente: Elaboración propia

Esta es una tabla muy resumida, con actividades básicas de los procesos involucrados en la construcción. En la realidad hay muchísimos más factores implicados.

Para efectos prácticos se decidió clasificar a los diferentes rubros donde la construcción contamina:

1. Impacto sobre las aguas superficiales y subterráneas
2. Impacto sobre la atmósfera
3. Impacto sobre el suelo
4. Otros

1.3.3.1.1 Impacto sobre las aguas superficiales y subterráneas

Como ya se ha visto con anterioridad, el agua es un recurso sumamente valioso que se utiliza en todos los procesos de fabricación de cualquier producto en el mundo. La industria de la construcción no es nada diferente. El agua se usa para la elaboración de todos los

materiales, maquinaria y equipos que se necesitan en la obra, así como para el proceso constructivo (mezcla de concreto y mortero en obra, limpieza, o humedecer superficies secas, etc). Toda construcción, no importa lo grande o pequeña que sea, tiene impactos en el entorno que le rodea, y si bien no siempre nos encontramos cerca de un acuífero, el agua que escurre por las lluvias siempre llega a ellos, cargando con partículas y demás contaminantes que encuentra a su paso.

El Programa Mundial de la UNESCO de Evaluación de los Recursos Hídricos (2019) define a la contaminación del agua como “Presencia de sustancias químicas o de otra naturaleza en concentraciones superiores a las concentraciones naturales. Entre los contaminantes más importantes se encuentran los microbios, los nutrientes, los metales pesados, los químicos orgánicos, aceites y sedimentos, el calor también puede ser un agente contaminante al elevar la temperatura del agua”.

Antes de pasar a los factores contaminantes, hay que distinguir los dos tipos de fuente de agua que existen:

- Aguas superficiales: La que, después de caer en forma de lluvia, nieve o granizo que discurre por la superficie terrestre y forma ríos y arroyos. Su contaminación está relacionada con su calidad, que se ve afectada por el desecho de aguas residuales a estos cuerpos, así como materia orgánica que produce su eutrofización (eliminación del oxígeno en el agua que provoca la asfixia de los seres vivos en ella).
- Aguas subterráneas: Es aquella que después de haber llegado a la superficie terrestre se infiltra en el terreno (a través de poros y fisuras del suelo) y crea yacimientos subterráneos (manantiales y ríos). La contaminación de esta agua consiste en la alteración de su calidad natural. Esto puede pasar, por ejemplo, por las actividades relacionadas con las excavaciones profundas, donde metales pesados y otros contaminantes químicos, así como sedimentos se infiltran en la tierra y se ponen en contacto con el agua subterránea.

A continuación se describen algunas de las actividades de la construcción que más contribuyen a estos impactos.

Red de drenaje

Debido al aumento de la población cada vez son más las descargas de aguas residuales a los acuíferos, alterando su calidad. Los residuos domiciliarios la afectan con dos tipos de contaminantes, físicos (partículas que no se disuelven en el agua y requieren ser tamizadas en su proceso de tratamiento) y químicos (líquidos mezclados en el agua, como aceites de cocina) y que requieren de procesos de tratamiento mucho más complejos.

De igual forma cuando hay roturas o fugas en las tuberías de drenaje, el agua residual que transita por ellas se infiltra antes de llegar a la planta de tratamiento, por lo que los contaminantes se infiltran directamente. Otro ejemplo de la contaminación que ocasiona la red de drenaje es durante su construcción, ya que la perforación del suelo causa la introducción de sedimentos y metales pesados al agua, así como provoca la modificación de los ecosistemas por donde pasa la red.

Residuos de construcción

Son pocos los sitios de construcción que disponen correctamente de sus residuos, y muchas veces estos terminan en vertederos no regulados, y son arrastrados por tormentas hacia las aguas superficiales o sus componentes solubles se infiltran en el suelo hacia las aguas subterráneas, obteniendo una mezcla de contaminantes y agua conocida como lixiviado que arrastra partículas dañinas a los lugares más recónditos del subsuelo y a más fuentes de agua limpia.

Aguas de limpieza en obras

Cuando al término de los procesos constructivos se limpia el sitio, el agua utilizada para lavado se mezcla con distintos residuos propios de la obra, sobretodo partículas como sólidos suspendidos, que como se mencionó antes va a afectar la turbidez del cuerpo de agua al que llegue.

Movimientos de tierra

Cuando se hacen este tipo de procedimientos se remueve la capa de vegetación del suelo, por lo que se introducen a los acuíferos materia orgánica y sólidos suspendidos (por la erosión del suelo), así como el arrastre de sedimentos.

En algunas fases de la construcción, como la perforación y el relleno, se compromete la calidad del suelo porque se remueve la capa superior que actúa como filtro para las precipitaciones. Sin esta, y una vez que las rocas y sedimentos en sitio se contaminan (principalmente por el polvo de construcción), toda el agua de lluvia que escurra por ellos va a acarrear esos contaminantes directo hacia los acuíferos.

Generación de energía eléctrica

El más claro ejemplo es la producción de energía utilizando los acuíferos, las centrales hidroeléctricas. Si bien este método no introduce contaminantes químicos al agua, sí ocasiona impactos físicos, primero para replicar las condiciones que se necesitan para transformar la energía mecánica en eléctrica (sobre todo la construcción de embalses para recrear el salto o caída para generar la energía potencial), eso en el caso de ríos y otros cauces, pero de igual forma se afecta la flora y fauna que habitan estos acuíferos, y la posibilidad de encontrar sólidos suspendidos aumenta, afectando la calidad del agua, ya que por la velocidad del caudal y el efecto del salto los sedimentos y partículas de suelo están en constante movimiento y cuando algunas de estas se disuelven, pero dejan un color turbio en el líquido.

En el caso de la energía producida por el movimiento de las mareas que hacen girar a las turbinas colocadas bajo el agua, la colocación de estos dispositivos es el impacto negativo, ya que en muchas ocasiones desplazan a la fauna que habitaba ese lugar, así como remoción de la flora, y a veces algunos animales se golpean contra las turbinas y mueren.

En general podemos decir que, aunque la mayoría de las fuentes “limpias” de energía no tienen relación directa con el impacto a los acuíferos, pero para poder transformar sus diferentes tipos de energía (calorífica, luminosa, mecánica, etc.) requieren de dispositivos para hacerlo. Por ejemplo, para poder utilizar la energía solar se requiere de paneles

fotovoltaicos, y al producirlos se generan residuos de metales pesados que muchas veces terminan en los cuerpos de agua.

Hay algunas actividades que pueden ayudar a reducir el impacto de la construcción en las aguas superficiales y subterráneas, como el no utilizar materiales tóxicos para construir, donde no sólo se van a crear edificios más saludables para los usuarios, sino que también los procesos de estos materiales son mucho menos agresivos con el medio ambiente, y el lavado de la maquinaria que se utiliza para fabricarlos no introducirá contaminantes en el agua. Lo mismo aplica para el lavado en los sitios de construcción. En esta propuesta también vale la pena mencionar que si la maquinaria que se utiliza en obra pudiera operar con energías limpias, el riesgo de derrames de combustibles en el sitio (que posteriormente se mezclará con el agua de limpieza) se eliminaría por completo.

De igual manera, la acumulación de residuos es uno de los problemas que causan la mayor contaminación de aguas, principalmente porque inducen contaminantes tanto físicos como químicos. Esto puede reducirse si se tiene una clasificación y disposición correcta de todos los residuos que salen de los sitios de construcción. Para evitar que terminen en vertederos no regulados es necesario aplicar mucho más control en la normatividad de la recolección de desechos.

1.3.3.1.2 Impacto sobre la atmósfera

La Organización Mundial de la Salud (OMS) define a la contaminación atmosférica como: “La contaminación del aire (tanto el exterior como en interiores) es la presencia en él de agentes químicos, físicos o biológicos que alteran las características naturales de la atmósfera.”

La calidad del aire tiene una relación directa con la salud pública, y actualmente es la mayor causa de morbilidad en el mundo, puesto que el 99% de la población total del planeta está respirando aire contaminado que sobrepasa los límites recomendados por la OMS. Los contaminantes más dañinos para la salud humana son las partículas en suspensión, el monóxido de carbono, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre.

Los impactos atmosféricos producidos por el sector de la edificación son la contaminación por partículas sólidas en suspensión (polvo de construcción) y los gases de combustión. Las primeras son principalmente las llamadas PM10, que se definen como aquellas partículas suspendidas que tienen un diámetro que oscila entre 2.5 y 10 μm ¹⁶, compuestas principalmente por compuestos inorgánicos como aluminatos y silicatos. Estas son liberadas en lo que se conoce como “polvo de construcción”, hecho a partir de cemento, madera y piedra, que se levanta sobre todo durante las operaciones de movimiento de tierras, demolición, y también durante el proceso de fabricación de algunos materiales, como la cal y el mortero. Una exposición prolongada puede causar problemas respiratorios.

La emisión de gases es variada, pero el que destaca por sobre todos es el CO_2 , que se origina de la quema de combustible para la maquinaria y camiones de transporte, así como

¹⁶ Micrómetros, que representa una milésima parte de un milímetro.

por la quema de residuos, y los procesos de fabricación de materiales de construcción. También se consideran las que son producidas por la generación de energía eléctrica. El papel de la construcción en la contaminación atmosférica se hizo mucho más evidente con la pandemia de COVID-19 en el 2020. Todos los proyectos de infraestructura fueron detenidos, así como la mayoría de las actividades de manufactura de materiales, y por lo tanto el transporte de estos. Como consecuencia se vio una reducción muy grande de emisiones de CO_2 a nivel global, decayendo un 6% con respecto a su valor en 2019, de 35 Gton a 33.3 Gton.¹⁷ Si bien hubo muchos factores que contribuyeron a esto, es innegable que el paro absoluto de la edificación contribuyó en gran medida.

En el informe anteriormente mencionado, “Global Status Report for Buildings and Construction” (Informe sobre la situación mundial de los edificios y la construcción), se describe a detalle todo lo relacionado con la liberación de CO2 derivada de la construcción, con especial énfasis en la creación de edificios. En la Figura 1.8 se aprecia una gráfica donde se muestra el porcentaje de las emisiones totales creadas por la industria constructora, que en 2021 sumaron el 37% del total de emisiones, un aproximado de 34.9 Gton, solamente 1% por debajo del valor en 2019.

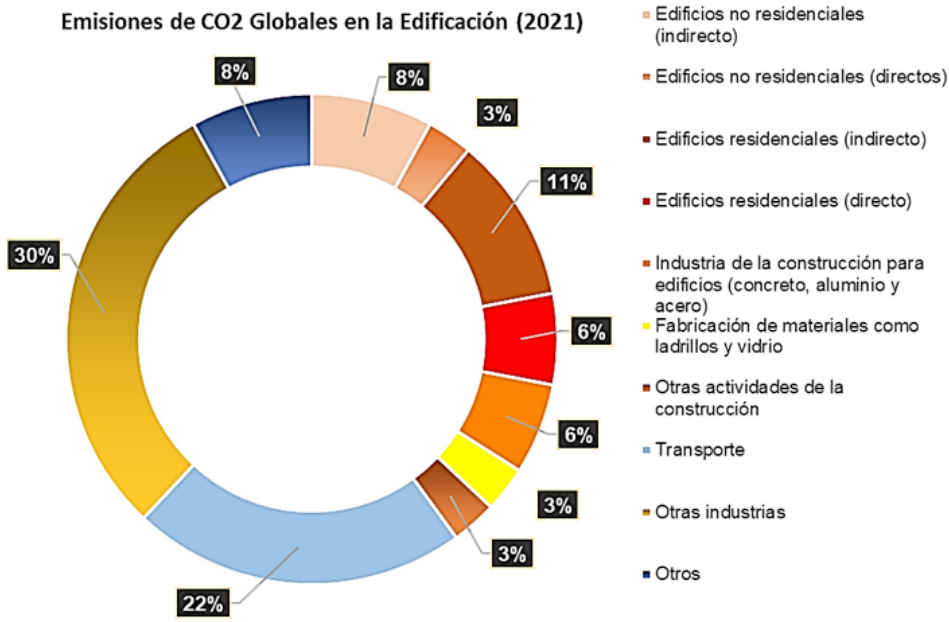


Figura 1.8: Emisiones de CO₂ Globales en la Edificación (2021).

Fuente: Elaboración propia, basada en el 2022 Global Status Report for Buildings and Construction

Cabe resaltar que para la industria de la construcción, la emisión de los contaminantes y gases de efecto invernadero se clasifican en *directos*, que son aquellos que provienen de las actividades que están relacionadas de primera mano con la edificación en sus diferentes etapas, como la extracción y fabricación de materiales, el transporte de estos, los gases emitidos por la maquinaria utilizada, etc., y los *indirectos*, que son aquellos despedidos por

¹⁷ Dato obtenido del *Global status report for buildings and construction*. (2022) Global Alliance for Buildings and Construction.

la generación de energía eléctrica y aire acondicionado o calefacción (que en la actualidad se sigue produciendo en gran parte con la quema de carbón y petróleo).

Para el caso de México, en 2016 su contribución a la emisión mundial de CO₂ por consumo y quema de combustibles fósiles fue de 1.4%, ubicándolo entre los 15 países más contaminantes, donde los 5 países con mayor volumen de emisión de CO₂ contribuyen conjuntamente al 58% del total (China 28%, EUA 15%, India 6%, Rusia 5% y Japón 4%), teniendo una emisión global de 32.3 Gton.¹⁸

Existe un indicador conocido como “intensidad de carbono”, que expresa una relación entre el volumen de GEI que se emite por cada unidad de PIB generada por la economía de un país. Según la Agencia Internacional de Energía, la intensidad mundial de carbono se redujo 50% entre 1971 y 2016, pasando del valor de 0.6 kg/dólar a 0.3 kg/dólar¹⁹. En México se ha mantenido estable durante el mismo periodo, rondando en el valor de 0.25 kg/dólar.

Los países con economías en vías de desarrollo son los perfectos candidatos para aplicar desde el comienzo un sistema más eficiente que los conduzca al desarrollo sustentable, como es el caso de países asiáticos y africanos, ya que estas comunidades contarán con un auge poblacional y urbano durante los próximos años, donde tendrán la oportunidad de aplicar todos los conocimientos adquiridos por países desarrollados que debieron pasar numerosas políticas ambientales para adaptarse a las exigencias actuales.

Lo interesante llega cuando analizamos el aporte de GEI por sector productivo dentro de una economía. Según el Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero, de las 700 Mt (megatoneladas) de CO₂ que produjo México en 2015:

- La industria de la energía representó el 25.9%, destacando la categoría carboeléctrica y las centrales de autogeneración.
- El transporte representó el 24.5%, del cual el autotransporte aportó 22.9%.
- Y para nuestro tema de interés, la industria de la construcción representó el 0.1%.

Hasta ahora podemos pensar que el impacto de la construcción en México es casi nulo, pero es necesario considerar que hay muchas industrias y sectores que permiten que la construcción opere. Con esto en mente, podemos identificar que: la industria cementera representa el 2.1% de la emisión de GEI, mientras la del hierro y acero el 0.6%, la residencial el 3.1%, el tratamiento de aguas residuales el 3.3%, por mencionar algunos.²⁰

Todo esto nos lleva a cuestionar las prácticas que la ingeniería en edificación ha utilizado en cada una de las etapas del ciclo productivo, más específicamente del ciclo de vida de los materiales, desde el proceso de extracción de materias primas y planificación de infraestructura, hasta la disposición final de los residuos, teniendo en cuenta las emisiones operativas de carbono por cada actividad.

¹⁸ Datos obtenidos del *Informe de situación de medio ambiente en México* emitido por la SEMARNAT

¹⁹ Según el tipo de cambio de 2010

²⁰ Datos obtenidos de la *Sexta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. (2018). INECC y Semarnat.

Resulta importante mencionar que el sector transporte implica 24.5% del total de GEI emitido en México, del cual el autotransporte corresponde al 22.9% mientras que los ferrocarriles, la aviación y la navegación marítima contribuyen al resto. Esto se debe a una deficiencia del sistema de caminos que refleja la falta de planificación de conexiones entre las diferentes localidades y que no tiene la capacidad de atender oportunamente a los más de 53 millones de vehículos de motor circulando, registrados por el INEGI.

Podemos concluir que es necesario que todos los actores involucrados en el sector de la construcción asuman mayor responsabilidad y entiendan el impacto ambiental que tienen sus actividades dentro de una nación para que exista la posibilidad de cambio, adoptando conjuntamente los mismos objetivos y estrategias dentro de la cadena de suministros, desde el productor hasta el consumidor final.

La participación de la industria cementera

El concreto es el segundo material más utilizado en el mundo, sólo por debajo del agua. Y para elaborarlo son necesarios cuatro componentes: arena, grava, agua y cemento, siendo este último el que presenta una mayor huella de carbono.

Cuando se produce una tonelada de cemento, también se liberan 900 kg de CO₂²¹ a la atmósfera, principalmente en dos etapas del proceso:

1. Durante la calcinación de la piedra caliza se libera CO₂ cuando esta reacciona a altas temperaturas y se transforma en óxido de calcio, correspondiente al 60% de las emisiones totales.
2. En la quema del combustible que se necesita para lograr una temperatura de aproximadamente 1500° C en el horno rotatorio, correspondiente al 40% de las emisiones totales.

Considerando que cada año se emplean más de 1.6 billones de toneladas de este material en construcciones alrededor del mundo, se puede entender la magnitud del impacto generado por esta industria, demostrando así la importancia de extender la vida útil de los edificios y mejorar los procesos productivos de los materiales utilizados. En el caso de la industria cementera, se enlistan algunas propuestas:

- Carbonatar el cemento para descarbonizarlo. No hay ninguna forma en la que se pueda disminuir el CO₂ que se libera en la calcinación de la piedra caliza, ya que es un producto de la reacción química necesaria para que esta se convierta en óxido de calcio, por lo que la única alternativa es lograr capturar y utilizar este gas de alguna otra forma. Actualmente en Islandia se está desarrollando un nuevo proceso de solidificación de CO₂ en rocas, más específicamente, se ha comprobado que se puede transformar en un material calcáreo, parecido a la piedra caliza, a causa de una reacción química con el basalto. Lo más impresionante del experimento es que

²¹ Dato obtenido de: *Producción de cemento: cómo reducir las emisiones de CO₂*. (2023). Ennomotive.

los resultados se dan en cuestión de meses, según lo que explicaron los científicos para la revista Science²². La desventaja de este proceso es que no se cree que sea posible satisfacer la demanda mundial solamente con esta alternativa, además de que se trata de un procedimiento costoso.

- El reciclaje del material de demolición, sobre todo los áridos para fabricar concreto nuevo. Aunque esta alternativa es de las más viables, tiene una gran desventaja, y es que el transporte de estos residuos a la planta y posteriormente al nuevo sitio muchas veces significan más emisiones de las que se evitan con este método. Otro gran problema es que altera la relación A/C, lo que implica añadir más cemento a la mezcla, es decir que la huella de carbono por metro cúbico de concreto aumenta.
- Búsqueda de nuevos materiales de fabricación, como el cemento basado en geopolímeros. Su desventaja es que hay una gran falta de estándares y su uso hasta ahora es muy limitado.
- Reutilizar el CO₂ tal cual sale del proceso de calcinación y volverlo a insertar en el sistema. Para esto se requeriría instalar una cámara de precalentamiento antes del horno, y un tubo que circule el CO₂ caliente despedido de este. El método conlleva a una disminución en la cantidad de combustible para llevar al material a la temperatura necesaria en la formación de clínker. Añadiendo esta fase dentro del proceso ya establecido en la producción de cemento, se genera un circuito cerrado del CO₂, donde se aprovecha un compuesto que comúnmente sólo es un residuo de las actividades humanas, pero al darle uso, se demuestra que puede generar un impacto positivo, ambiental y económico.

Es importante señalar que el CO₂ no es solamente resultado de la quema de combustibles para calentar el material, sino que la misma reacción química que comprende la elaboración de clínker, emite grandes cantidades de CO₂, por lo mismo, los métodos que buscan eficientar el uso de energía para calcinar el material no van a disminuir tan significativamente la emisión de este compuesto, a comparación de método para recolectar y utilizarlo, disminuyendo el impacto negativo y, si es posible, generar uno positivo. Esto lo podemos ver reflejado en la Tabla 1.4 del cuadro desarrollado por Chatham House²³, que compara las diferentes acciones para el manejo de CO₂ en la producción de cemento.

²² Revista científica y órgano de expresión de la American Association for the Advancement of Science

²³ Centro de Estudios Británico Chatham House

Acción y posible impacto en el CO ₂ vinculado a la producción de cemento (% de reducción de emisiones) ⁴	
Captura y almacenamiento de carbono	95-100%
Nuevos cementos	90-100%
Sustitución del clínker	70-90%
Combustibles alternativos	40%
Eficiencia energética	4-8%

Tabla 1.4: Reducción de emisiones de CO₂ según actividades en la producción de cemento

1.3.3.1.3 Impacto sobre el suelo

El suelo es el principal soporte de la vegetación, la infraestructura, y como hábitat de toda la biodiversidad del planeta. Es un recurso sumamente importante para todas las economías del mundo; sin embargo, los esfuerzos y planificación por conservarlo nunca han sido prioridad para la política de los países, ya que no se considera un bien directamente consumible y porque se tiene la idea errónea de que el suelo se recupera en un periodo de tiempo relativamente corto. Para entender lo alejada que esta concepción de la realidad, sólo hay que pensar que el proceso para que el suelo forme una capa de 1 cm de espesor puede tardar hasta 100 años²⁴. El deterioro del suelo se debe principalmente a la sobre explotación de este para producción y consumo globales.

Uno de los problemas que dificultan la creación de políticas de preservación del suelo es que no existe un sistema de clasificación universal, sino que se hace más que nada por región, y utilizando como guía sus características prácticas. Esto hace mucho más complicado tener charlas inclusive nacionales sobre estrategias de conservación o reparación de suelos. Actualmente ya se están haciendo esfuerzos por crear un sistema que se pueda utilizar en todos los países. Hasta ahora, la más aceptada fue desarrollada por la Base Referenciada Mundial del Recurso Suelo (BRMRS) e incluye 32 unidades de suelo. Este se adaptó a las condiciones ambientales de México y es utilizado por el INEGI.

En el país se han identificado 25 de las 32 unidades, aunque hay 6 grupos predominantes (leptosoles, regosoles, feozems, calcisoles, luvisoles y vertisoles). Tres de estos tienen aptitudes agrícolas (feozems, calcisoles y luvisoles), desafortunadamente, los que son infértiles son los dominantes en cuanto al espacio que ocupan en el territorio nacional.

La contaminación del suelo se define como el aumento en la concentración de sustancias de origen antropogénico, que provoca cambios perjudiciales y reduce su empleo potencial, tanto por parte de la actividad humana, como por la naturaleza. Tales sustancias pueden ser sólidas, líquidas o gaseosas y afectan la flora, la fauna y la salud humana.

²⁴ Dato obtenido del *Informe de situación de medio ambiente en México* emitido por la SEMARNAT

La degradación del suelo se define como la “reducción de su complejidad para producir bienes económicos y de llevar a cabo su regulación directamente relacionadas con el bienestar humano, como lo son la productividad agrícola y el mantenimiento de la calidad del agua y el aire” (Lal, 1998). Este proceso puede ser causado natural o antropológicamente, pero para fines de este trabajo solamente se van a mencionar los que están relacionados con la creación o modificación de infraestructura.

Si bien es la agricultura la industria que generalmente se asocia como la responsable de la degradación del suelo, la construcción también hace su parte con sus procesos, y los impactos de estos están estrechamente relacionados con los acuíferos, ya que su capa superior actúa como un filtro natural para el agua de precipitación. Sin embargo, este no es el único impacto provocado por esta industria. Los efectos dependen de la concentración y características del contaminante, pero van desde degradación de la vegetación, reducción de especies presentes (los animales migran al no haber comida), suelo infértil, envenenamiento de las plantas, alteración de los ciclos biogeoquímicos (ciclos como los del carbono, azufre, y oxígeno, donde algunos procesos y/o elementos pasan por el suelos se ven alterados), y la contaminación de mantos freáticos.

Las causas son variadas, la extracción de materia prima para la fabricación de materiales de construcción es un proceso sumamente agresivo con el suelo, donde se perforan los estratos para poder obtener los minerales necesarios. La limpieza del sitio donde se va a construir, el movimiento de maquinaria ocasiona la compactación del suelo, y la propia utilización del suelo para edificar es en sí un impacto, ya que esa porción de tierra ya no podrá albergar la vida que antes sí. Estos espacios no se utilizan solamente para levantar infraestructura, sino que también se tiene que destinar un espacio físico que funcione como vertedero para todos los residuos de la construcción; estos muchas veces no son regulados y por lo tanto algunos de los desechos ahí son peligrosos o contienen contaminantes que van a afectar (o inclusive mermar por completo) la calidad del suelo.

Además de la erosión, la edificación degrada físicamente al suelo con su proceso de compactación, ya que con este proceso se eliminan los vacíos del suelo, y las plantas no pueden desarrollar sus raíces, resultando en un suelo infértil; también se reduce su porosidad y eso evita que el agua se infiltre. Esto a su vez hace que el agua escurra por la superficie, buscando nuevos caminos para desplazarse, ocasionando erosión hídrica en dichos senderos. Esto provoca la deformación del terreno y se modifica la composición estratigráfica del suelo, la erosión destruye desde una hasta varias capas, y los nuevos cauces antes mencionados hacen depósitos de sedimentos en otros lugares. Muchas veces estos sedimentos son residuos de desechos de los tiraderos.

Esta disposición no regulada también provoca cambios en la estructura y composición química del suelo. Es producida por vertidos de combustible de la maquinaria en sitio, aguas de limpieza y residuos peligrosos que son lavados por la lluvia y se infiltran en el suelo. Estas sustancias alteran el pH del suelo, neutralizan algunos de sus componentes naturales, etc., y junto con la compactación modifican también la salinidad del suelo, debido a que la falta de infiltración de agua provoca cambios en el contenido de sales en el suelo, ya que ya

no se da ese “lavado de suelo” con el agua precipitada, y en otros lugares ahora hay un lavado excesivo por el aumento de agua infiltrada.

Otro tipo de degradación en la que contribuye la edificación, aunque en menor medida, es la biológica, esto debido al arrastre de materia orgánica, que ocasiona la eutrofización; así como hay algunas veces en donde, para efectos de decoración en la infraestructura se introducen plantas no originarias del lugar, hecho que también puede alterar el suelo y a la biodiversidad de la zona. Una propuesta que ha adquirido fortaleza en los últimos años consiste en utilizar el material producto del despilme para devolver la materia orgánica local de donde se extrajo en un inicio, reservándola hasta que finalice la construcción y sea momento de reintegrarla a los espacios verdes del proyecto, respetando así la vegetación local y que no termine en un vertedero común un suelo rico en nutrientes y organismos.

Las soluciones de los gobiernos hasta el momento no han estado centradas en la conservación del suelo, sino que los esfuerzos están puestos en proteger aquellas zonas que están destinadas para cultivos exclusivamente. Más que proteger a los recursos por su función en los ecosistemas, se hace pensando en la posibilidad de poder seguir utilizándolos para la producción de bienes consumibles. De aquí que cada vez se utilizan tratamientos químicos más agresivos para mantener la fertilidad del suelo, en vez de proponer soluciones a largo plazo, como respetar los ciclos de recuperación, o endurecer las regulaciones respecto al uso de químicos y sobre explotación.

1.3.3.1.4 Otros

Si bien la mayoría de los impactos negativos hacia el medio ambiente que son generados por la construcción ya fueron descritos, no se deben dejar de lado aquellos que no son cuantificables con indicadores estadísticos. Las luces, sonidos, destrucción de ecosistemas y la utilización de recursos son parte también de la contaminación que conlleva levantar infraestructura.

Contaminación Lumínica

Definida como “alteración de la oscuridad natural de la noche, provocada por luz desaprovechada, innecesaria o inadecuada, generada por el alumbrado de exteriores, la cual genera impactos en la salud y en la vida de los seres vivos” (Ministerio del Medio Ambiente de Santiago, Chile). Todos los edificios emiten luz, algunos las 24 horas del día, y por la noche producen un fenómeno denominado *sky glow*, que no es sino un halo luminoso en el cielo, y es característico de las grandes metrópolis. Uno de sus efectos más visibles es que dificulta o hace imposible distinguir la luz de las estrellas en el cielo nocturno.

Aunque esto sin duda es lamentable, no se compara con el daño que sufren los animales nocturnos, cuyos ojos necesitan la oscuridad, y la luminosidad de las calles, los vehículos, y la maquinaria que trabaja de noche los desconcierta y entorpece, provocando incluso su muerte. Además, todos los ciclos biorrítmicos de los seres vivos (incluidas las plantas) se ven afectados, ya que al tener luz constante, nuestros organismos no procesan adecuadamente las horas de descanso.

Contaminación Acústica

Se entiende como “la presencia en el ambiente de ruidos o vibraciones, cualquiera que sea el emisor acústico que los origine, que impliquen molestia, riesgo o daño para las personas, para el desarrollo de sus actividades o para los bienes de cualquier naturaleza, o que causen efectos significativos sobre el medio ambiente.” (MITECO).

Todas las construcciones implican ruido, desde el “simple” martilleo hasta la utilización de maquinaria pesada, en donde los trabajadores necesitan incluso de audífonos que aíslen el sonido para no lastimar sus oídos, pero, ¿quién protege la audición de los animales? El exceso de sonido causa estrés e irritabilidad, además de desubicación para aquellos que usan el sentido del oído para orientarse.

Biodiversidad

Debido a las contaminaciones antes descritas, cada vez son más las especies que migran de sus hábitats naturales debido a la deforestación para poder dar paso a las urbanizaciones, así como por las contaminaciones antes descritas. Esto afecta a todo el ecosistema, muchas especies proliferan en exceso debido a su falta de depredadores, y otras mueren en la migración o no logran adaptarse a su nuevo ambiente y de igual forma su población decrece o se fragmenta.

1.3.1.2 Residuos de Construcción y Demolición, RCD

Como ya vimos, el modelo económico y de producción actual presenta problemáticas fundamentales, como la contaminación de agua, aire y suelo; pero ahora es momento de hablar sobre la generación excesiva de residuos. “Así como cualquier actividad económica que emplea insumos en su labor, y los transforma y procesa, la industria de la construcción también genera residuos, principalmente sólidos” (CMIC 2014), donde no solo la cantidad es lo preocupante, sino su diversidad y calidad. Un modelo más sostenible debe tener contemplado no sólo un plan de gestión de residuos, debe además buscar disminuirlos de forma contundente, optando por procesos que los eviten, y aún así, tener un plan para los residuos que se lleguen a generar.

Para el caso del sector de la construcción, la NOM-161-SEMARNAT-2011 sobre los Residuos de Manejo Especial, dicta en el Anexo VII que una obra que presente residuos de construcción, mantenimiento y demolición mayores a 80 m³, debe contar obligatoriamente con un plan de manejo y una bitácora de su generación, presentados ante la SEDEMA. Adicionalmente, si una obra produce entre 7 m³ y 80 m³, se considera un generador pequeño y debe presentar un plan de manejo de residuos únicamente a las autoridades estatales, mientras que menos de 7m³ se categoriza como un microgenerador y quedan exentos de elaborar este plan.

Los residuos de construcción y demolición (a partir de ahora RCD) representan la mayor proporción de los residuos de manejo especial en la Ciudad de México, considerando únicamente la construcción de obras públicas (donde el valor puede variar según la cantidad de obras en construcción, remodelación y demolición), mientras que una estimación elaborada por la Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción (CMIC) calcula que el

total de generación de RCD en México para el año 2011 fue de 6.08 millones de ton²⁵, y seguramente esta cantidad ya ha aumentado considerablemente al año presente.

Los RCD se componen mayormente por una fracción pétreo (mampostería, concreto y elementos prefabricados derivados de este, azulejos y cerámicos, además del material producto de excavación)²⁶ de alrededor del 87%, y de otros grupos de residuos (tales como madera, vidrio, plástico, metales, yeso, asfalto, etc.) que corresponden al 13% restante.²⁷ Los residuos generados por actividades de despalle no se consideran parte de estos.

La SEDEMA indica que de los 31 tipos de residuos, clasificados según su aprovechamiento, los RCD corresponden al 4° residuo más generado por establecimientos de la CDMX, con 79.49 ton/día. Esto se ve representado en la Figura 1.9.



Figura 1.9: Comparación entre los tipos de residuos más generados por día.

Fuente: SEDEMA. Elaboración: IRS 2019

Cabe mencionar que se tiene registro de que menos del 0.1% de estos residuos son aprovechados, en contraste con el 86.13% de los residuos de construcción y excavación que pueden ser aprovechables si se gestionan correctamente (397,300.89 tn/año).²⁸

Se estima que actualmente en todo México sólo 4% de los RCD son aprovechados, de los cuales 3% se recicla y 1% se rehúsa²⁹. Actualmente en la CDMX existe una planta de tratamiento de RCD con 2 máquinas itinerantes, la cual cuenta con una eficiencia de 97% y recicla 38.31 ton/día. La planta se dedica a procesar y triturar los residuos de construcción provenientes de diversas obras, buscando reutilizarlos en la estabilización de suelos, como subbase en vialidades o relleno en sitios de disposición final.³⁰ Sin embargo, es la única planta de reciclaje para RCD registrada en México, y el resto de estados no cuenta con la infraestructura adecuada para un manejo idóneo.

Hablando del manejo que llevan a cabo grandes urbes como la Ciudad de México, de los 461,276.61 m³ de residuos de excavación (67.6%), construcción y demolición (32.4%) generados por año³¹ y que fueron reportados por los 659 planes de manejo de residuos:

- Se reciclaron 128,021 m³ de residuos de construcción, correspondiente al 27.75%
- Se reciclaron 122,908.27 m³ de residuos de demolición, correspondiente al 26.65%
- Se enviaron 297.338.68 m³ a disposición final, correspondiente al 64.46%

²⁵ Datos obtenidos del Plan de Manejo de Residuos de la Construcción y Demolición. (2013). CMIC

²⁶ Específicamente el que se ha contaminado y sufrió alteraciones físicas, químicas y/o biológicas

²⁷ Datos obtenidos del Plan de Manejo de Residuos de la Construcción y Demolición. (2013). CMIC

²⁸ Según datos del Inventario de Residuos Sólidos del 2019

²⁹ Datos obtenidos del Plan de Manejo de Residuos de la Construcción y Demolición. (2013). CMIC

³⁰ Según el Inventario de Residuos Sólidos del 2019

³¹ Según el Inventario de Residuos Sólidos del 2019

Todos estos tipos de residuos difícilmente se separan en el mismo sitio donde se generan, desvalorizando su utilidad y la importancia de su impacto en el ambiente.

Como podemos imaginar, el mayor problema de estos desechos es que no cuentan con una contabilización tan precisa, por lo cual no existe una disposición acorde al tipo y cantidad que se genera, haciendo que estos residuos se acumulen en suelos urbanos o de valor ambiental, impactando nocivamente a los ecosistemas. Según los inventarios de residuos consultados, correspondientes a la CDMX, se estima que solamente el 8.15% de los RCD generados son contabilizados apropiadamente por los planes de manejo de las Declaratorias de Cumplimiento Ambiental (DCA), de los cuales sólo el 58.6% de los residuos son recolectados, para que más de la mitad de estos terminan siendo enviados a disposición final. Estos datos resultan alarmantes considerando que son únicamente de los que se tiene registro, existe todavía un gran porcentaje de RCD que no son reportados y terminan en tiraderos clandestinos a los que jamás se les aplicará una legislación ambiental.

Resulta conveniente explicar que los sitios de disposición final son depósitos de residuos de carácter permanente que cuentan con las condiciones adecuadas para minimizar los daños que los residuos puedan causar al ambiente. Aunque cabe añadir que la disposición final de todos los residuos sólidos generados en México genera emisiones de 722,784.34 ton/año de CO₂e³² que afectan el medioambiente, contribuyen al cambio climático y repercuten en la salud de la población.³³

Según el INEGI, en el directorio de empresas y establecimientos, se encuentran registradas 4,528 empresas recicladoras, 284 que reutilizan, 121 que recuperan y 71 que reduce y reparan). Por su parte, la Zona Metropolitana del Valle de México cuenta con 6 rellenos sanitarios primordiales, 5 ubicados en el Estado de México y 1 en Puebla, en este último terminan todos aquellos residuos que no cuentan con ningún tipo de tratamiento.

Debido a la alta vulnerabilidad de la Ciudad de México frente a eventos hidrometeorológicos o telúricos, los cuales producen inundaciones y sismos, se propicia una generación extraordinaria de RCD que requiere de un manejo rápido y oportuno de grandes volúmenes de material para atender la reconstrucción de inmuebles y espacios públicos. No existe un protocolo establecido para este manejo de residuos, el cual representa una cantidad considerablemente mayor al de un escenario cotidiano.

Según el Programa de Gestión Integral de Residuos para la CDMX 2021-2025, una de las mejores prácticas que puede implementar la ciudadanía es la de separación de residuos, difundiendo esta cultura para facilitar la recolección, transporte y disposición de estos. Esta iniciativa puede ser igualmente aplicable a los RCD por parte de los ingenieros, debido a que una edificación cuenta con residuos de concreto, vidrio, madera, aluminio, acero, plásticos, etc. y debemos buscar la forma de reintegrarlos a las cadenas productivas, donde

³² CO₂ equivalente, cuantificando todos los GEIs generados en un sólo valor, gracias a los factores de conversión proporcionados por la ONU.

³³ Según el *Inventario de Emisiones de la Ciudad de México 2016*. SEDEMA.

incluso se tengan contempladas piezas de fácil ensamble y desensamble para facilitar esta tarea (elementos prefabricados).

Este programa cuenta con metas de diferentes rubros, de las cuales dos implican directamente la participación de la industria de la construcción:

- Meta 2, de producción y consumo responsable: En esta se promueve el registro de planes de manejo adecuado de residuos por parte de grandes empresas generadoras de estos, considerando su ciclo de vida desde su aparición en el mercado hasta el fin de su vida útil. Por este medio, llama a la SEDEMA para contar con 2,500 planes de manejo de RCD registrados e implementados en la industria de la construcción para 2025.
- Meta 16, del manejo y aprovechamiento: Donde se solicita al sector contar con estrategias que prevengan la generación y aseguren el manejo de RCD, invitando a empresas del sector privado a campañas de sensibilización sobre los impactos del manejo inadecuado y el contraste con los beneficios de uno adecuado, promoviendo la separación de RCD en el lugar de origen y su reutilización. Aunado a ello, pide a SOBSE y SEDEMA incorporar legislaciones que añadan el concepto de agregados reciclados en el Tabulador General de Precios Unitarios (haciendo las modificaciones necesarias en el Reglamento de Construcción), así como adecuar los lineamientos regulatorios para el aprovechamiento de los RCD para 2025.

No está de más hacer notar que este programa tiene muy presente el concepto de economía circular y busca adoptar sus principios en el mayor número de sectores posible, donde las campañas propuestas aborden las problemáticas de consumo actuales y que exista una responsabilidad extendida, incidiendo en los hábitos de consumo de los ciudadanos, fomentando el crecimiento económico y el desarrollo sostenible al reducir costos ambientales y financieros.

1.3.1.2.1 Plan de manejo de RCD 2014

La CMIC y la SEMARNAT han elaborado un “Plan Nacional de Manejo de Residuos de Construcción” en el año 2014, después de celebrar un convenio específico de concertación, donde promueven estrategias para llevar a cabo el plan que pide la NOM-161-SEMARNAT-2011. Propone un manejo integral para los RCD, donde puntualiza las prácticas que deberían tener las empresas constructoras y en general cómo deben participar todos los actores en la industria, según las siguientes etapas:

- 1. Identificación de residuos e indicadores de manejo:** Donde se elabora un cálculo de indicadores de manejo. Se establece que todas las empresas constructoras son responsables de tener conceptos de trabajo que incluyan materiales de fácil reúso, reciclaje y disposición final autorizada, además de tener una estimación de los residuos que genera cada alternativa (explosión de insumos) y su manejo propuesto. Todos estos factores deben ser cuantificables para poder compararse apropiadamente. Los indicadores de manejo se engloban en una única fórmula:

$$T = RU + RCo + RCa + D$$

Donde:

T= Indicador de residuos (ton)

RU= Residuos reutilizables

RCo=Residuos reciclables en Obra

RCa=Residuos Reciclables fuera de Obra

D=Residuos de Disposición final

2. Minimización en la generación: Mientras más sistemas de reducción de residuos haya, más fácil será la tarea de manejarlos ya que será menos cantidad de la cual preocuparse. Como buenas prácticas, la CMIC recomienda:

- Cuantificar correctamente todos los materiales de obra, sin considerar desperdicios excesivos.
- Pactar la devolución de embalajes con los proveedores.
- El utilizar sistemas prefabricados elimina casi al 100% el uso de la madera y por lo tanto la cimbra residual, así como diversos desperdicios de obra.
- Al final de la jornada, diariamente se debe realizar una limpieza general donde se estén realizando los trabajos de obra, recoger los residuos y llevarlas a un área determinada para separarlos.
- Identificar personas o empresas que estén interesadas en utilizar y recolectar periódicamente los residuos que se generen en la obra, obteniendo beneficios de su venta y reciclaje.
- Emplear materiales que eviten el uso de materiales cuyos residuos sean tóxicos, además de existir una zona específica para almacenamiento de estos, como envases de aceites y combustibles (esto se puede prevenir si se vacían por completo los envases).
- No incinerar ningún tipo de residuos en obra por el riesgo de generar vapores tóxicos, así como vertirlos en redes de saneamiento o cauces públicos.

3. Separación de los residuos en obra: Según la siguiente clasificación, se define su aprovechamiento, buscando no mezclarlos con Residuos Sólidos Urbanos (RSU) ni con residuos peligrosos.

- a) Material de excavación: Arcillosos, granulares, tepetatosos
- b) Concreto: Simple, armado, asfálticos
- c) Escombro: Fragmento de block, tabique, adoquín, ladrillos, piedra, etc.
- d) Otros: Madera, cerámica, plásticos, plafón, yeso, materiales ferrosos, suelos orgánicos y material de despalme.

4. Acopio y transporte: La contratación de servicios formales es vital, donde evite la dispersión de residuos (particularmente la de finos) y garantice el traslado a centros de reciclaje o disposición final. Para ello, se requiere tener un control documental para cada traslado de residuos que se haga, con formatos acreditados disponibles en el PM-RCD-2014, minimizando el almacenamiento extendido de estos en la obra. En este rubro se solicita a la SEMARNAT contar con acreditaciones para los transportistas que ejecuten estos trabajos, además de emitir un directorio de estos, preferentemente.

5. Reúso y reciclaje: Es necesario desarrollar la infraestructura necesaria para incrementar el volumen de residuos reusados, ya sea dentro o fuera de la obra y que esta cuente con una extensa cobertura nacional para ahorrar costos relacionados al transporte. En la plataforma "Simbiosis Industrial" la SEMARNAT pone a disposición de todas las empresas una red que pone en contacto a generadores de residuos con

empresas que pueden aprovecharlos y transformarlos en insumos de sus procesos productivos, generando nuevos mercados en todos los sectores. El reúso de materiales debe ser acordado por el propietario de obra y el que la ejecuta, donde se asegure ante todo su calidad y su vida útil.

- Disposición final:** Debemos recordar que no todos los residuos generados en obra son recuperables para su aprovechamiento, por lo que son enviados a sitios especializados de disposición final. La CMIC pide disponer del 100% de estos residuos a sitios autorizados, a diferencia de las barrancas, predios abandonados, vía pública, etc. Hoy por hoy, sólo existen 6 sitios reconocidos de disposición final para RCD, ubicados en la CDMX, el Estado de México, Guanajuato y 3 en Baja California; por lo que la CMIC se compromete a crear al menos 3 sitios nuevos con este fin.

Se anexa como material complementario, un esquema de la participación de todos los actores involucrados en el manejo de residuos, elaborado por la CMIC:

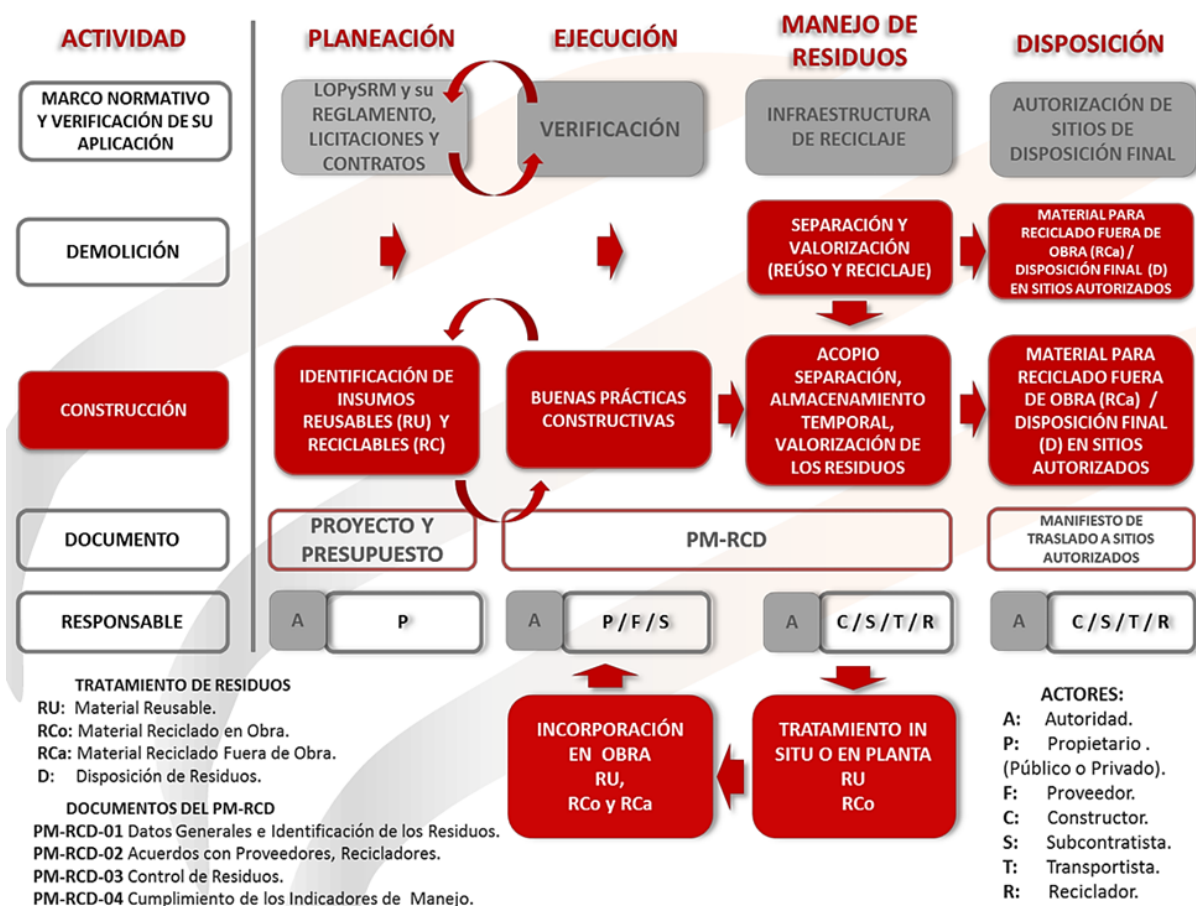


Figura 1.10: Actores involucrados en el manejo de residuos.

Fuente: Plan de Manejo de Residuos de la Construcción y Demolición. CMIC, 2013.

Capítulo 2. Economía circular

“La única constante es el cambio”
-Heráclito de Éfeso

Esta frase, y su posterior adaptación, “la única constante en la naturaleza es el cambio”, indica que la naturaleza siempre se ha ido adaptando. En los primeros años de vida del planeta Tierra, las condiciones climatológicas eran muy diferentes a las que hay hoy en día, y las formas de vida se fueron modificando para poder sobrevivir. Al mismo tiempo, el medio se adaptó para satisfacer las necesidades de las formas de vida. Así pues, con el tiempo, se estableció una especie de armonía, con ciclos de vida, reproducción, y alimentación definidos y balanceados. Un ejemplo claro y simple es el siguiente: las plantas se alimentan de la tierra, hay animales herbívoros que se alimentan de las plantas, y los animales carnívoros se alimentan de los herbívoros, y cuando mueren los carnívoros, sus cuerpos alimentan la tierra de la que se nutren las plantas. La naturaleza produce lo que consume, no más, no menos, y todos los residuos de un sistema son utilizados por el siguiente. Este es el principio de la economía circular.

Este ciclo se vio seriamente afectado desde que los primeros hombres se asentaron en sociedades y comenzaron a practicar actividades como la ganadería, la agricultura y la pesca. Así comenzaron los denominados cambios o alteraciones en el medio ambiente.

Los humanos comenzaron a extraer elementos de este ciclo, y a producir también otros residuos que no eran aprovechables por la naturaleza, lo que los convertía en desechos. Esto produjo un impacto sumamente negativo en el ambiente, conocido como: contaminación.

La economía circular surge como una alternativa a los medios de producción que actualmente dominan todos los mercados del mundo, donde se busca encontrar un equilibrio entre las metas de producción y las de sustentabilidad, y puede ser aplicado en cualquier sector industrial, pero para fines de este trabajo se va a analizar sobre todo el de la edificación en México.

Para poder comprender el concepto y las implicaciones de este relativamente nuevo modelo económico, es recomendable compararlo con su contraparte, la economía lineal, ya que esto facilitará el entendimiento de las ventajas y limitaciones, con respecto a este otro modelo. Se propone delimitar el campo de estudio a un solo factor de interés a la vez, por lo que habrá que descomponer las fases del ciclo de vida de una edificación, identificando los recursos de los cuales necesita, y los residuos que se generan en cada una.

2.1 Definición y comparativa economía circular vs. lineal

En los próximos párrafos se describe y analiza mucho más a fondo cómo fue que surgió la economía lineal, cómo funciona actualmente, las ventajas y las consecuencias que ha traído consigo a la sociedad, así como su impacto hacia la naturaleza.

Características de la Economía Lineal

Se define a la economía lineal como “Modelo tradicional donde para fabricar productos se extraen materias primas, se produce y luego se desecha, sin tener en cuenta la huella ambiental y sus consecuencias. Este tipo de economía prioriza el beneficio económico, obviando la sostenibilidad, ya que los productos se fabrican con la finalidad de ser usados y tirados”. (Santander, 2021)

Se basa en un modelo de producir - utilizar - tirar, así como en el principio de la producción en masa que surge durante la Revolución Industrial, por lo que podemos rastrear sus orígenes en los años 1750 's. Cuando se empezaron a industrializar los procesos, nació un nuevo sistema económico: el capitalismo, que empezó a marcar las clases sociales, y a priorizar la cantidad por sobre la calidad de los bienes producidos. En la Figura 2.1 se presenta en forma gráfica cómo funciona la economía lineal:

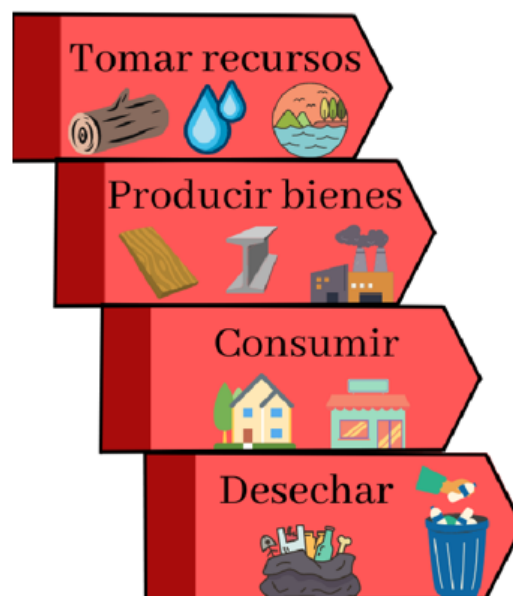


Figura 2.1: Representación gráfica de la economía lineal
Fuente: Elaboración propia.

Al no haber circularidad, se entiende que la economía lineal se basa en las ideas de que la producción y la demanda son constantes, que se cuenta con recursos y energía infinitos, y no se toman en cuenta las consecuencias ambientales, ya que debido al contexto histórico, económico y político de la época cuando se propuso el modelo, el hecho de haber encontrado un método de producción en masa era mucho más importante que el pensar si sería sostenible en el futuro. Ese sería el problema de otra generación.

Una de las principales características de este modelo económico es que ni el consumidor ni el productor se preocupan por la gestión de los residuos, y esto se debe principalmente a dos factores: el hecho de que los desperdicios en la producción no suponen una pérdida monetaria relevante, y la mentalidad consumista.

El primer factor tiene que ver con que el precio de los recursos y la mano de obra suelen ser tan baratos, que los dueños de las fábricas no se ven perjudicados por las pérdidas de material en el proceso. Tampoco les es atractivo tratar de utilizar materiales reciclados, si el precio de utilizar uno nuevo no es tan diferente. Muchas veces de hecho es más caro tratar de utilizar nuevamente algunos materiales, por más que su reciclaje sea “sencillo”. Por ejemplo, en las obras de construcción se generan muchos desperdicios de varilla, ya que una vez que se cortan a la medida especificada en los planos quedan pequeños pedazos que no se pueden utilizar de otra forma (según el Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, este valor representa el 18% de todo el acero de la construcción). El metal es uno de los pocos materiales que se pueden volver a fundir y moldear sin perder sus propiedades físicas, pero no resulta conveniente reunir todos los pedazos, llevarlos hasta una fundidora, volver a producir otra varilla y volver a transportarla al sitio de construcción, por lo que lo más probable es que todo este material termine en los vertederos.

El segundo factor presenta un análisis más complejo, ya que para esto es necesario comprender los diferentes fenómenos sociales y tecnológicos que afectan nuestra ideología individual y colectiva. El primero de estos es algo llamado obsolescencia planificada, un término que se refiere a la acción de los fabricantes para hacer que su producto deje de servir en un determinado plazo de tiempo. Consiguen esto al hacer que su tiempo de vida sea corto, utilizando materiales de baja a media calidad (los cuales por lo mismo son más baratos), haciéndolos incompatibles con otros dispositivos, o haciendo de la reparación de sus equipos algo costoso, o no venden las piezas que se requieren para repararlos. En la construcción esto afecta sobre todo en la maquinaria y equipo que se utiliza.

Por otro lado, existe otra forma de hacer que un producto en buen estado parezca inservible: haciendo que las personas creen la necesidad de tener lo más novedoso, y por lo tanto, de consumir más. Se nos vende la idea de que para tener un status más alto en la organización social hay que estar a la vanguardia en tecnología, pero esta es tan cambiante, que es casi imposible seguirle el ritmo, provocando un inevitable sentimiento de insatisfacción constante, que se ve aplacado durante un tiempo, cuando compramos este producto, pero al poco tiempo, cuando sale una nueva versión, vuelve a aparecer. Es un ciclo en el que el consumidor apenas se pone a pensar en las consecuencias ambientales que esta demanda desmedida tiene, siendo la principal el que los residuos que se van generando son cada vez más, y al mismo tiempo se extraen más y más recursos para poder producir bienes, haciendo de este un ciclo insostenible para la naturaleza.

Hay muchísimos ejemplos que denotan que todo el proceso de construcción está basado en la economía lineal. Empezando por el hecho de que apenas si hay materiales que son fabricados con energías limpias, los residuos que se generan en las obras no se reintegran en otro proceso productivo, y casi ninguna estructura o parte de ella se puede volver a utilizar. Por ejemplo, las cimbras convencionales.

Resumiendo las ideas que se han desarrollado hasta ahora, la economía lineal se presenta como un modelo en donde se beneficia a la producción y al crecimiento económico, pero no hay cabida para el reciclaje o la reutilización, no se prioriza el uso de fuentes de energía renovable ni de materiales que generen una menor huella de carbono, sino que se utiliza lo

que sea más barato para producir, lo que genera bienes de baja calidad que tienen un ciclo de vida corto y terminan siendo desechados con poca o nula regulación, y los fabricantes se ven obligados a extraer aún más recursos para poder satisfacer la demanda. También crea problemas de índole social, como la adquisición de deudas por parte de los usuarios para poder seguir consumiendo, y la mano de obra barata muchas veces significa que existe explotación laboral dentro de la industria, lo cual a su vez incrementa el desequilibrio económico que de por sí ya existe entre las clases sociales.

En conclusión, este modelo fue “funcional” durante muchos años y es indudable que catalizó el crecimiento económico de los países cuando más lo necesitaban, ayudando a crear la organización social y a establecer a las actuales potencias económicas, sin embargo, sus objetivos no son compatibles con los de la sustentabilidad, y debido a que se basa en el principio erróneo de que los recursos y la energía son ilimitados (lo cual es una idealización), no se puede seguir aplicando indefinidamente.

Características de la Economía Circular

La economía circular es un modelo relativamente nuevo (se menciona por primera vez en el libro de Pearce y Turner, “Economía de los Recursos Naturales y del Medio ambiente”, publicado en 1989), y trata de asemejar a los ciclos que ocurren de forma natural en los ecosistemas, en donde todos los residuos de los procesos son reintegrados en ese u otros ciclos, generando así un sistema cerrado que maximiza el ciclo de vida de los agentes que participan. Una de sus principales características es que tiene un aspecto antropocentrista, que establece que el ser humano no es sólo parte del medio ambiente, sino que es un factor esencial en su desarrollo, y por lo tanto requiere tomar un papel activo en su preservación, para beneficio de todos los seres vivos y del propio medio ambiente. La Figura 2.2 presenta cómo funciona este modelo:

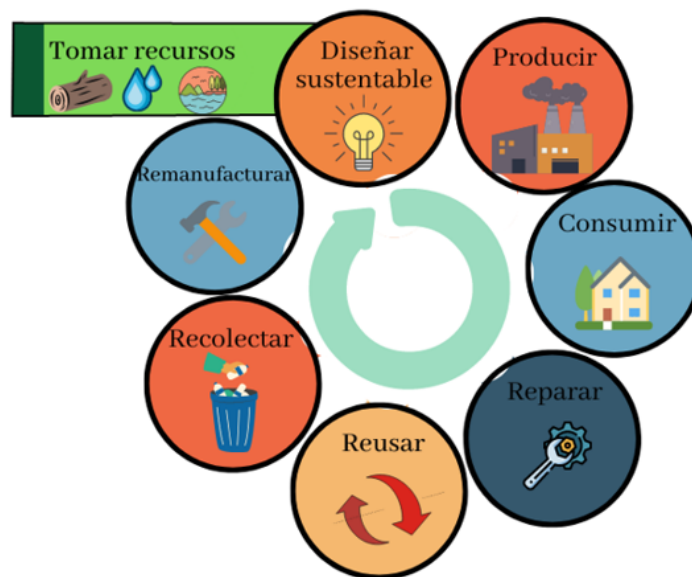


Figura 2.2: Representación gráfica de la Economía Circular
Fuente: Elaboración propia.

Su diseño circular muestra que, contrario a la economía lineal, busca la reducción de insumos, para esto propone dos enfoques, el primero es la disminución en cuanto a la cantidad extraída, y el segundo es utilizar de forma más eficiente estos recursos, al no dejarlos salir del ciclo evita las pérdidas y así utilizar menos. Esto resulta en un menor volumen de residuos generados. No sólo eso, sino que también propone utilizar materias primas con baja huella de carbono y diversificar las fuentes de energía que se utilizan para la producción, así como la recuperación y remanufacturación de los componentes al final de la vida útil del producto.

Todos estos objetivos son compatibles con los del desarrollo sustentable, pero también con los del crecimiento económico, puesto que este modelo no busca ralentizarlo o afectarlo de ninguna forma, sino que se haga de una forma más ecológica y eficiente. De hecho, utilizando la economía circular es posible frenar o al menos reducir la volatilidad de los precios, y evitar los conflictos entre naciones por el control de los recursos, sin poner en riesgo la capacidad para satisfacer la demanda presente ni futura.

Según la revista CONAMA³⁴, esta define a la economía circular como un modelo económico que utiliza la menor cantidad de recursos naturales necesarios, seleccionándolos de forma inteligente (minimizando los no renovables y las materias primas críticas, así como priorizando el uso de materiales reciclados cuando sea posible), gestionándolos eficientemente para poder recircularlos en el sistema el mayor tiempo posible, minimizando no sólo los residuos generados, sino también los impactos ambientales, favoreciendo la restitución del capital natural y su regeneración.

La meta es poder crear productos duraderos, sostenibles, reparables y reciclables, con capacidad de evolución y adaptación para diferentes usos, y así poder aumentar vida útil. Para poder lograr esto, si bien las etapas de ejecución y mantenimiento son importantes, la de mayor peso es la de planificación y diseño, ya que la economía circular prioriza la prevención por sobre la reparación, por lo que es necesario que desde el primer momento se tenga claro el cómo se van a lograr alcanzar los objetivos de sustentabilidad buscados.

Una de las características más interesantes de la economía circular es que muchos autores la definen como más que un modelo económico: una filosofía económica. Esto quiere decir que puede ser abordada desde distintas perspectivas y ámbitos, y que no hay solamente un camino "correcto" para aplicarla, sino que mientras se respeten sus principios básicos, es posible adaptarla a las necesidades de la industria en la que se quiere aplicar.

Aunque el hecho de que una sola industria aplique la economía circular es un avance, no hay que olvidar que en este modelo económico todos los agentes implicados están conectados, por lo que uno solo no basta, es necesario que todo el sistema funcione cíclicamente. Por ejemplo, en la edificación no basta con que el sector que produce los empaques de cemento decida transicionar, si una vez que el producto sale de sus instalaciones no se respetan los planes de manejo y disposición de residuos, que

³⁴ Revista de la Fundación de la Comisión Nacional del Medio Ambiente. (2018). *Economía Circular en el sector de la construcción*.

naturalmente ya no son responsabilidad de esa empresa, sino que un tercero es el encargado. Si esa persona decide tirar el empaque en un vertedero, en lugar de entregarlo a un centro de reciclaje (como originalmente se diseñó), el ciclo se rompe y ese producto ya no podrá ser la materia prima para un nuevo bien, sino que se convierte en un desecho sin valor.

Una vez expuesto lo anterior, se pueden comprender adecuadamente las diferencias entre la economía lineal y circular. Los objetivos, principios, ventajas y limitaciones de la economía lineal fueron expuestos de forma más superficial en los párrafos anteriores, y a continuación se presenta un análisis detallado de estos mismos indicadores para la economía circular, puesto que este modelo es el tema de interés en el presente trabajo.

2.2 Fundamentos de la Economía Circular

Para poder comprender los postulados de este modelo económico y la forma en la que se relaciona con la sustentabilidad, hay que analizar detenidamente tres de sus componentes: las escuelas de pensamiento en las que se basan sus objetivos, los pilares que resultan de estas escuelas, y los factores que contribuyen a implementar el modelo exitosamente.

2.2.1 Escuelas de pensamiento

Estas son las teorías que sentaron las bases y los elementos característicos de la economía circular. En la bibliografía se mencionan siete: Economía del Rendimiento, Diseño Regenerativo, De la cuna a la cuna, Ecología Industrial, Biomímesis, Economía azul, y Capitalismo natural. Todas estas teorías fueron propuestas elaboradas por profesionales de distintas áreas (arquitectura, biología, economía, etc.), lo cual resulta fascinante ya que todas llegan a conclusiones extremadamente similares, aunque hayan sido estudiadas desde diferentes perspectivas.

Aunque las siete son clave para el desarrollo de la economía circular como la conocemos hoy en día, solamente se describirán las primeras tres, ya que son las que tienen un enfoque más puntual en la edificación.

Economía del Rendimiento

También conocida como Performance Economy, y propuesta por el arquitecto y economista suizo Walter R. Stahel (quien también acuñó el término “cradle to cradle” que se verá más adelante y es uno de los pilares de la economía circular), persigue tres objetivos: la extensión de la vida del producto, promoción de actividades de reacondicionamiento, y prevención de residuos.

Para alcanzar estos objetivos, esta teoría propone cinco pilares, que se describen brevemente a continuación:

1. Conservación de la naturaleza: No sólo se deben proteger a los ecosistemas y ciclos naturales, sino también restaurarlos tal y como han existido desde el principio.
2. Toxicidad limitada: Establece que todos los elementos tóxicos (refiriéndose a aquellos producidos por el hombre, como metales pesados, plásticos, etc.) se

fabriquen únicamente en tal cantidad que puedan ser absorbidos en su estado natural por la naturaleza, sin dejar residuos y sin sobrepasar esta capacidad.

3. Producción de recursos: En este principio se asienta que los países industrializados son los que tienen mayor posibilidad y responsabilidad de innovar y mejorar el modelo económico actual, debido a que cuentan con mayores recursos y que son estos los que han contribuido en mayor parte al deterioro ambiental.
4. Ecología social: Defiende la idea de que es necesario pensar en el bien común, y la importancia de desarrollar un modelo económico basado en la cooperación.
5. Ecología cultural: Este pilar presenta la necesidad tan imperiosa de formar a la generación presente y futuras en los valores de la ecología y la sustentabilidad.

Esta teoría concluye con la idea de que “las mercancías de hoy son los recursos del mañana con los precios de los recursos del ayer”, lo que significa que no ve a los productos como recursos, sino que deben venderse como servicios.

Diseño Regenerativo

El Regenerative Design, teoría propuesta por el arquitecto paisajista John T. Lyle, busca desarrollar proyectos que sean económica, medioambiental y socialmente sostenibles, se busca reconstruir los sistemas existentes con una eficacia absoluta. Esto significa que los proyectos deben ir más allá de buscar ser sostenibles, y generar nuevos sistemas que, a su vez, puedan regenerarse y así sucesivamente, y para esto se propone la creación de los llamados “ecosistemas urbanos”.

Estas son ciudades que sean capaces de regenerar sus propios servicios, tales como la regulación del aire, agua y suelo, la capacidad para producir alimentos y energía, y las funciones biológicas propias de un ecosistema.

De la cuna a la cuna

Craddle to cradle es una teoría desarrollada por el arquitecto Bill McDonough y el químico Michael Braungart. En su libro, dice que “hay que rediseñar las cosas pensando en el uso presente y futuro de los materiales”. En el sistema tradicional se buscan alternativas para disponer de los residuos hasta que llegan al final de su vida útil, pero esta escuela de pensamiento propone que el producto esté pensado, desde el concepto, para que todos sus componentes puedan reutilizarse en otros ciclos.

Para esto proponen una serie de consideraciones que se describen brevemente:

- a. Ciclo Biológico vs Ciclo Tecnológico: Esta teoría separa a los ciclos a los que los recursos se pueden reincorporar una vez que su vida como producto termina, el primero se refiere a la naturaleza, a los recursos que se pueden degradar en un periodo de tiempo corto. El segundo es el metabolismo técnico, y es que hay materiales que fueron creados industrialmente, como el plástico, y este no se puede degradar, por lo que se tiene que volver a incorporar en otro ciclo industrial. Para que puedan ser reincorporados en sus respectivos ciclos es muy importante que los productos estén diseñados de tal forma que sus componentes no se contaminen entre ellos y se puedan separar relativamente fácil.

- b. Ecoeficiencia vs Ecoefectividad: El primer término lo único que busca es alargar la vida útil del producto, que si bien esto es muy útil, al final va a terminar en el vertedero de cualquier forma. En cambio, el segundo concepto busca generar metabolismos cíclicos de la cuna a la cuna, es decir, que permite que los materiales sigan manteniendo su mismo estatus como recurso en todas las partes de un proceso. Se busca crear productos durables, más que biodegradables, para que se puedan vender más como un servicio.
- c. Upcycling vs Downcycling: Hablando estrictamente del reciclaje, actualmente, los productos obtenidos a partir de otros son de una calidad inferior, y solamente se logra reciclar una parte ínfima. Esto se conoce como infra reciclaje. Por el contrario, el supra reciclaje consiste en el reuso creativo de productor, con igual o mayor calidad, aunque no necesariamente el mismo uso, sino que se puede convertir en distintos productos. Por ejemplo, puede que un pedazo de un muro que fue derribado ya no pueda transformarse en otro muro, pero con la idea adecuada puede volverse un objeto decorativo.
- d. Basura = Alimento: Como ya se mencionó antes, los humanos somos los únicos seres que generamos residuos, ya que todas las demás especies funcionan en ciclos donde todos los desechos de uno son el recurso de otro. Con esta idea en mente, este principio propone que todos los residuos se conviertan en nuevos recursos.
- e. Diseñar respetando la diversidad: Se refiere a que es necesario diseñar considerando las interacciones con el sistema natural que tienen los diferentes componentes de un producto. Al ser todos los ecosistemas diferentes, no puede haber diseños genéricos, sino que se debe respetar la riqueza medioambiental de cada entorno donde se va a introducir el producto.

2.2.2 Pilares

Como se puede observar, todas estas escuelas proponen en esencia lo mismo, se van complementando unas a otras, pero hay algunas ideas que podemos ver se repiten. Es así como, basándonos en estas concepciones, podemos establecer pilares donde descansa toda la esencia de lo que debe ser una economía para funcionar en ciclos.

El primer pilar es optimizar el rendimiento de los recursos, y esto se logra con un diseño inteligente, pensando, desde su creación, en la durabilidad que queremos que tenga, actuar en consecuencia, buscando materiales de alta calidad para su fabricación, así como invertir en procesos novedosos, y operaciones de mantenimiento y reparación, ya que se tiene como objetivo que el producto tenga la máxima vida útil.

El segundo es recuperar el valor de los componentes de un producto una vez que este ha llegado al final de su vida útil. Para facilitar este proceso es necesario que sus componentes no se contaminen entre sí y sea fácil separarlos. En lugar de convertirse en desechos, estos se integrarán en nuevos ciclos, como recursos que no pierden su valor, para crear nuevos productos. Estos no necesariamente deben ser iguales al anterior, sino que pueden ser conceptos completamente nuevos, inclusive muy alejados para lo que estaban diseñados originalmente, como latas de aluminio convertidas en arte.

El tercer pilar promueve la efectividad del sistema al reducir al mínimo la generación de residuos, y por lo tanto de contaminación producida por cada producto fabricado. Va directamente relacionado con el segundo pilar, ya que, si se pueden separar los componentes de un objeto, aquellos que sean de origen natural se desechan, pero al ser completamente degradables no generarán residuos, y los que no lo sean, como no pierden su valor original, se pueden volver a utilizar como recurso para un nuevo proceso, generando cero residuos. Para conseguir los objetivos propuestos por estos tres pilares, se requiere de la utilización de un sistema de hábitos de consumo que no involucra tres, sino seis "R's".

Generalmente se habla de reducir, reutilizar y reciclar. Pero en este trío faltan varios conceptos que muchas veces se dan por hecho, pero que es necesario asentar también. De esta forma se compone el siguiente diagrama de flujo (Figura 2.3), donde nos indica claramente el camino que deben seguir los componentes de un producto una vez terminan su vida útil, de acuerdo a sus características particulares.

Aplicación de la metodología 6Rs en el ciclo de vida del producto

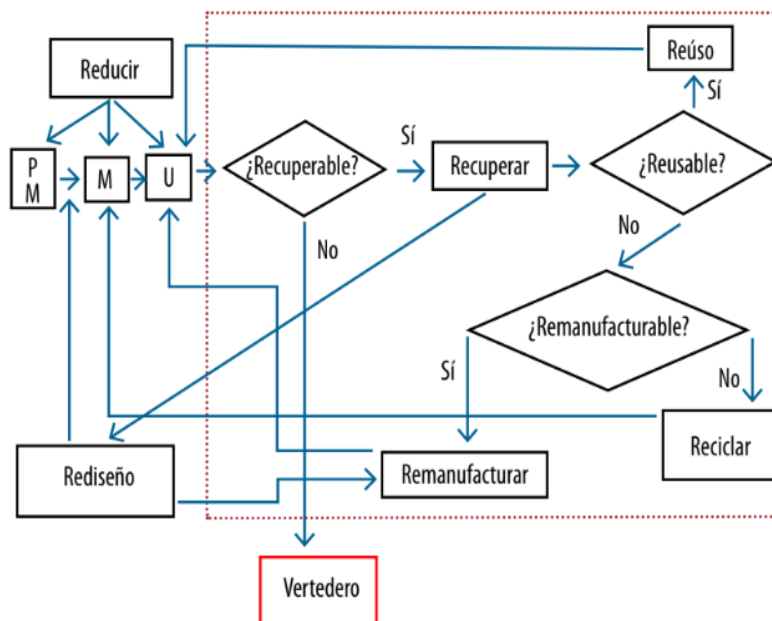


Figura 2.3: Aplicación de la metodología 6R en el ACV de un producto

Fuente: Revista Internacional de Estadística y Geografía

Donde:

PM = pre manufactura; M = manufactura; U = uso

Como vemos, este diagrama busca maximizar el tiempo que el recurso va a pasar en el ciclo, y se compone de las siguientes acciones:

1. Reducir: Como su nombre indica, se disminuyen los recursos utilizados para la pre manufactura, así como la energía y las emisiones.
2. Reusar: Se usa nuevamente al producto o a sus componentes después del término de su primer ciclo de vida, para evitar la producción de nuevos bienes.

3. Recuperar: Se busca recolectar los productos al final de su vida útil para poder desmontarlos y utilizar sus componentes en nuevos ciclos de vida.
4. Rediseñar: Implica diseñar la próxima generación de productos, buscando que sean más eficientes y utilizando la mayor cantidad de componentes reciclados.
5. Reciclar: Una vez que los componentes ya no se pueden seguir reutilizando, se deben llevar a las llamadas plantas de tratamiento o de reciclaje, para que, una vez hayan pasado por ellas, se puedan volver a utilizar.
6. Remanufactura: Reprocesar productos usados para reacondicionados o repararlos, utilizando la mayor cantidad de sus componentes originales sin pérdida de funcionalidad.

Otros factores involucrados

Hasta ahora se ha hablado de productos, recursos, residuos y algunas de las propuestas para mejorar el modelo económico actual. Pero hay muchas otras variantes que pueden contribuir a su éxito o a su fracaso, y que se necesitan tomar en consideración a la hora de querer implementar a la economía circular en un sector industrial.

El primero de estos factores son los modelos innovadores de negocios. Para que este modelo económico sea atractivo tanto para productores como consumidores, se necesita que sea un negocio rentable, pero que produzca bienes accesibles para la mayoría de la población. Deben lograr satisfacer las necesidades de las personas, y ser diseñados desde una mentalidad sustentable, que pueda ser acondicionado y adaptable. El verdadero reto es lograr cuidar los bolsillos de ambos, tanto consumidores como de los productores, generando una cantidad moderada de productos, y hay una propuesta en particular que ha demostrado que esto es posible: el consumo colaborativo.

Este se refiere básicamente al poder usar un bien o servicio pero sin la necesidad de adquirirlo monetariamente, sino que se pueda alquilar o intercambiar. Esto permite a los consumidores satisfacer sus necesidades de forma más económica, y existen tres tipos de consumo colaborativo:

- Mercados de redistribución: Se refiere a que cuando una persona ya no necesita un bien, lo puede reparar para después venderlo o regalarlo a otra persona que sí lo necesite, logrando así aumentar el ciclo de vida y minimizando la creación de nuevos productos.
- Estilo de vida colaborativo: Significa que los recursos que hay se reparten entre varias personas, para minimizar la cantidad que hay que producir de estos. Por ejemplo, si varias empresas comparten un solo edificio de oficinas, no es necesaria la creación de nueva infraestructura innecesaria para cada una de estas empresas.
- Sistemas basados en productos y servicios: Básicamente indica que se pueden compartir recursos sin tener que adquirirlos como tal, más bien tratando a los productos como servicios. Por ejemplo, si una persona tiene una casa y decide rentar uno de los cuartos, esa persona va a recibir un ingreso fijo mientras que la otra persona no tiene que poner el capital que necesitaría si comprara una casa completa.

Otro factor es el diseño de los productos, se debe buscar que no sean solamente sustentables, sino que satisfagan las necesidades del consumidor, procurando siempre la situación económica, social y ambiental del lugar donde se produce. No se debe limitar al producto, sino a todo el sistema de producción, lo cual significa mayor planificación. De acuerdo a los ámbitos mencionados, algunos de los aspectos que se buscan mejorar son:

- Social: Reducir el desempleo urbano, mejorar la calidad de vida de las personas a través de una mejora en sus condiciones de trabajo, proporcionar servicios básicos, etc.
- Ambiental: Reducir el consumo de combustibles fósiles, incrementar la eficiencia energética, detener la sobreexplotación de los recursos naturales, etc.
- Económico: Buscar el beneficio para ambas partes involucradas, modelos de negocios con participación justa, precios asequibles para las materias primas, etc.

No se deben dejar de lado los componentes como aplicar buenas estrategias de marketing, una buena planificación de suministros y existencias, reducción de los empaquetados, evitar la utilización de materiales tóxicos, promover las actividades de reparación, actualización y mantenimiento durante la operación del producto, e incitar a los consumidores a realizar intercambios y trueques.

2.3 Aplicación de la Economía Circular en México

Para poder implementar exitosamente este modelo económico en un país, se requiere de un conjunto de esfuerzos por parte del gobierno, la sociedad y las empresas. Cada uno cumple con diferentes roles en el ciclo, pero todos son igual de importantes.

En este subtema se va a analizar cómo es que estas tres partes interactúan tanto colectiva como individualmente en México, es importante recordar que el país se encuentra apenas iniciando en cuanto a temas de sustentabilidad y economía circular, por lo que, aunque ya empiezan a existir leyes que están tratando de incentivar y al mismo tiempo comprometer a las partes hacia métodos de producción y consumo más responsables con el ambiente, aún no es posible determinar si estos esfuerzos están dando resultados.

Esto no significa que el país no tenga antecedentes de aplicación de modelos alternativos a la economía circular, como es el caso de la economía azul (un modelo que considera a los océanos como los mayores motores de crecimiento y busca aplicar técnicas de acuicultura, pesca y reciclaje de plásticos extraídos del mar), el cradle to cradle, o ecotecnia en comunidades (captación de agua de lluvia, tratamiento biológico de aguas residuales, utilización de sanitarios secos, etc.), aunque ninguna ha sido tan ambiciosa ni con un espectro de aplicación tan amplio como la economía circular.

Algunos de los problemas a los que se enfrenta el país es la falta de legislación frente a temas de residuos y producción sustentable, que no existe una gestión sustentable del agua ni un programa funcional de eficiencia energética, así como que tiene un uso de energías renovables muy limitado. Aunque se es consciente de que los problemas medioambientales a los que nos estamos enfrentando deben ser una prioridad a resolver, realmente no existen propuestas para hacerlo. Además, estas leyes tardan mucho tiempo en su elaboración y

aprobación, aunado a que se va haciendo por estados, lo cual dificulta mucho la creación de estándares conjuntos.

Todo esto demuestra que México se encuentra en la fase de desarrollo y conocimiento del modelo, ya que apenas está creando los estándares de circularidad, y poco a poco se va introduciendo en la parte de implementación, aunque aún no es posible catalogar al país en estado de transición. Los esfuerzos que hace el gobierno para poder lograrla se dividen en cuatro grupos: programas (acciones de alto impacto social que buscan resolver problemas particulares), proyectos (el gobierno involucra al sector privado para lograr beneficios en una población reducida), infraestructura y modificaciones al marco normativo.

Se puede decir que la historia moderna de la sustentabilidad en México inicia con un producto que requiere de un manejo especial: los acumuladores LTH. La empresa se dio cuenta de que lo más beneficioso para todos era poder volver a utilizar algunos de los componentes una vez que sus productos llegaban al final de su vida útil, por lo que en 1990 abrió una planta en Nuevo León destinada para este fin. En la actualidad, a nivel nacional se encuentran registradas 4528 empresas recicladoras, 284 que reutilizan, 121 que recuperan y 71 que reducen y reparan (INEGI, 2022).

2.3.1 Contexto Nacional de la Economía Circular

Si bien es cierto que aún hay mucho camino por recorrer en la materia legislativa, en años recientes sí se ven avances importantes, algunos de los cuales se resumen en la siguiente línea del tiempo.

En 2003 se presentó la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, que se centró en el aprovechamiento y valorización de estos. Estipulaba que para lograrlo era necesaria la participación de los tres órdenes de gobierno: autoridades federales, estatales y municipales. Mencionaba también que se deben regular todos los tipos de residuos, con diagnósticos básicos de generación, composición y capacidad instalada de manejo de estos, así como la elaboración de planes de manejo de 3 ó más R 's. Ya entonces predominaba la idea de que la disposición final debía ser considerada la última opción, así como que la responsabilidad de una correcta gestión era compartida entre productores, gobierno, importadores, distribuidores, consumidores y prestadores de servicios. Además contaba con una propuesta para catalogar a los generadores, en domiciliarios, micro, pequeños y grandes.

En 2004 se crea un inventario de Residuos Sólidos Urbanos en la CDMX que se ha actualizado anualmente desde entonces.

En 2016 se propone el Programa de Gestión Integral de Residuos Sólidos para la CDMX 2016-2020, para lograr un adecuado manejo de los residuos generados por todos los sectores de la ciudad.

En 2017 comienza a operar el Biodigestor en Milpa Alta, que funciona con residuos del nopal (un recurso muy abundante en la región). Para 2019 utilizó 1,022 ton de estos para alimentar al generador eléctrico y el quemador de la planta.

En 2018 se publicó la NADF-012-AMBT-2015, que es una norma con la cual se estipula se deben separar las fresas y aceites para evitar la contaminación del agua.

A principios del 2019 se emite el Programa Ambiental y de Cambio Climático para la CDMX 2019-2024, donde se establece el objetivo de reducir en un 30% las emisiones de la ciudad para el 2024, a través de 7 ejes transversales, tales como la revegetación, el rescate de ríos, manejo sustentable del agua, entre otros.

En 2019 Quintana Roo promulga la Ley de Prevención, Gestión Integral y EC de los Residuos. Posteriormente otros estados crean planes de manejo, los cuales ayudan a maximizar el rendimiento de los recursos, disminuyen la huella de carbono, reflejan la responsabilidad social del organismo que lo desarrolla, y cada uno se adapta a las necesidades y características de las fuentes generadoras.

En 2019 se publicó La Visión Nacional hacia una Gestión Sustentable “Cero Residuos” dirigido por la SEMARNAT, que propone el uso de un modelo de jerarquía de residuos (Figura 2.4). Este es un diagrama de triángulo invertido que ordena desde la opción más favorable, a la más desfavorable para el tratamiento de los desechos, resultando en: prevención, reutilización, reciclaje, revalorización y finalmente desecho. Ya existen compañías mexicanas que ya han adoptado este modelo en sus procesos y mostrado buenos resultados, tales como Bimbo, Jumex y Tajín.



Figura 2.4: Diagrama de escenarios: tratamiento de residuos, según sostenibilidad y valor
Fuente: Fundación Cristina Cortinas (2022)

Otros puntos importantes que trata este programa son: la importancia de la integración de la Economía Circular en la educación, la creación de guías de consumo responsable, capacitación ambiental a proveedores de bienes y servicios, especialmente en la separación de residuos, la creación de un directorio de infraestructura disponible para el acopio,

comercialización y reciclaje, así como un directorio de plantas de compostable públicas y prestadores de servicio de manejo de residuos autorizados.

También, en octubre de 2019 se lanzó la iniciativa para crear la Ley General de Economía Circular, que cuenta con trece capítulos donde se desarrollan temas como el uso de materias de segunda vida, no incentivar en la población los productos limitados en su reciclaje, así como incorporar en el modelo educativo el estudio de la economía circular y otros temas relacionados con la misma. Esta ley se estudia más a detalle en un apartado posterior.

Y por último, en ese mismo año la SEMARNAT y la PROFEPA crearon un esquema no regulatorio, basándose en los objetivos de la EC, que se ha logrado aplicar exitosamente en México, el Programa de Liderazgo Ambiental para la Competitividad, que es un sistema novedoso con bases científicas, que permite a las PyMEs promover el uso eficiente de los recursos, impulsar la apropiación de la eco eficiencia, entre otros, pero que además ayuda a las empresa a generar beneficios económicos, sociales y ambientales a través de la EC. Se basa mayormente en la responsabilidad compartida y una alianza entre el sector privado y el público.

En 2020 comienza a operar la Planta de Biodiesel, que produce 3000 litros de combustible sustentable desde julio de ese año, utilizando como materia prima el aceite comestible residual. Se utiliza para el funcionamiento de la línea 2 del metrobús (12 unidades). En este año también se creó un Programa de Certificación de Edificaciones Sustentables

En 2021 el municipio de San Andrés Cholula, Puebla, publicó su Reglamento Municipal de Prevención y Gestión Integral de Residuos, con enfoque en EC. En la CDMX se emitió la declaración de construcción limpia, se inauguró la Planta de Tratamiento de RCD en Miguel Hidalgo, y la Planta de Carbonización Hidrotermal, así como el inicio de varios cursos enfocados en aprender sobre el modelo de EC.

Apenas el año pasado, en 2022 se publicó la Evaluación de la situación actual de la EC para el Desarrollo de una Hoja de Ruta. La hoja de ruta es un plan de acción a seguir que muestra una secuencia detallada de pasos en modo de cronograma, que debe contener fechas específicas para las entregas de avances; lo que convierte a esta publicación en un primer acercamiento a la planificación de un sistema para lograr la transición al modelo. Es decir, nos da una idea de dónde nos encontramos en el camino del cambio, hasta dónde queremos llegar, en qué tiempo, y expone las primeras ideas de cómo lograrlo.

La creación de leyes en materia de sustentabilidad no se hace a nivel nacional, sino estatal. Y en México hay dos estados que han destacado en los últimos años por su compromiso con implementar activamente la EC: Querétaro y Guadalajara.

Estas dos regiones celebraron el “Foro para impulsar la Economía Circular local y regional en México” en 2018, donde se comprometieron, entre otras cosas, a hacer todo lo que estuviera a su alcance para alcanzar los objetivos de Desarrollo Sostenible de la agenda 2030, apoyar a los gobiernos locales y aplicar la responsabilidad compartida, incentivar a las

empresas a adoptar modelos de negocio, diseño y producción acordes con los principios propuestos por la EC, desarrollar una cultura sustentable (utilizando programas educativos principalmente), hacer alianzas público-privadas para acelerar la transición a nivel local y regional sin depender de los periodos gubernamentales, así como el desarrollo de guías, manuales, cursos de capacitación y esquemas de certificación basados en la EC.

Querétaro ha llevado la delantera en el proceso de creación de legislación, en el municipio de Landa de Matamoros ya se cuenta con un Reglamento para la Prevención, Gestión Integral y EC, que tiene como objetivos lograr el cierre del ciclo de vida de los materiales y productos, prevenir la generación de residuos, fomentar el aprovechamiento y valorización de materiales, impulsando el mercado de los subproductos, promover instrumentos de gestión, planeación, inspección, verificación y control en los procesos productivos, etc.

Este estado también cuenta con un Programa Regional de Manejo Integral de Residuos en la Sierra Gorda, que basa su objetivo principal en las visiones contenidas por la EC. Recientemente, en 2021, la Secretaría de Desarrollo Sustentable y el Clúster Automotriz crearon el foro “Sistema Economía Circular”, donde en un inicio se vislumbraron 42 proyectos con una inversión de 33 millones de pesos, que tuvieron una retribución total de 87.2 millones, que ayudaron a reducir 1,092 ton de residuos y 4,179 ton de CO2 anualmente.³⁵ Esto demuestra que el modelo de EC no sólo es beneficioso para el medio ambiente, sino que también es redituable y se pueden obtener grandes ganancias monetarias.

2.3.1.1. Tasa de circularidad

Es posible estimar la tasa de circularidad de un país si se utiliza el marco de Indicadores de Transición Circular propuesto por el Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible, aunque debido a la falta de información en algunos temas y la creación tan reciente de los métodos cuantitativos para calcular este porcentaje, no es posible saber qué tan exacto es, al menos para nuestro país.

A nivel mundial, la tasa más alta la tiene Países Bajos, con 34%. Este país tiene un compromiso muy alto con la economía circular, y por lo mismo se ha propuesto metas igualmente ambiciosas: para el 2030 busca tener una economía 50% circular, y para el 2050 que lo sea en su totalidad. En su plan de desarrollo para lograr esto se consolidan una serie de estrategias y acciones para gestionar materias primas, productos y servicios de forma más eficiente.

Dentro de este plan, en 2018 se aprobó una agenda centrada en 5 sectores, entre los cuales se encuentra el de la construcción, ya que acumula el 50% del consumo de materias primas del país, donde la estrategia se centra en hacer de todos los edificios Net Zero y en que se deben de utilizar tantos materiales y recursos reciclados como sea posible. Otros

³⁵ Datos obtenidos de una presentación del Diplomado sobre Derecho Ambiental, Cambio Climático y Derechos Humanos, impartido por la Escuela Federal de Formación Judicial, con colaboración de la Fundación Cristina Cortinas, en junio de 2022.

sectores donde se van a aplicar acciones son: textil, fabricación de equipos móviles, electrodomésticos, agricultura y fabricación de bicicletas con plástico reciclado.

En México, esta tasa es de 15.14%, a continuación se describirán brevemente los factores que se tomaron en consideración para llegar a este resultado.

Esta evaluación es muy dinámica y se puede adaptar a diferentes niveles, ya que se basa principalmente en los flujos de los materiales que utiliza la empresa, además de indicadores sobre la eficiencia y eficacia de estos recursos, y finalmente el valor agregado por el negocio circular. Esto la hace apta para evaluar desde el producto, a la empresa, hasta a un país.

Se hace un promedio ponderado entre el porcentaje de entrada circular y el de salida. El primero está determinado por el contenido de recursos no virgen (es decir, materias de segundo uso) y de contenido renovable. El segundo se determina con el porcentaje de recuperación potencial y real. Esto se hace para evaluar la circularidad a nivel producto y empresa. Para evaluar este porcentaje a nivel país se buscan aquellos productos de la industria que requieren de mayor energía para su elaboración, puesto que el ahorro de energía es uno de los principales objetivos de la economía circular.

Participación de la industria de elaboración de materiales de construcción

Consumo final de energía por tipo de industria (PJ)	2019
1. Hierro y acero	251.56
2. Química	159.99
3. Cemento	139.03
4. Alimentaria, bebida y tabaco	79.23
5. Minera	74.93
6. Papel	54.85
7. Vidrio	52.19
8. Azucarera	37.77
9. Petroquímica	35.77
10. Automotriz	19.33

De acuerdo con el informe publicado por la fundación Ellen MacArthur en 2019, “cuando se aplican las estrategias de EC a cuatro materiales industriales clave (cemento, acero, plástico y aluminio) sería posible coadyuvar a reducir las emisiones de GEI en 40% hacia el 2050”.

La Base de Indicadores de Eficiencia Energética (BIEE) en 2019 publicó en la Revista Internacional de Estadística y Geografía, una lista de los materiales que tienen la mayor demanda energética durante su producción (Figura 2.5), y no es ninguna sorpresa encontrar a los materiales de construcción ocupando los primeros lugares.

Figura 2.5: Demanda energética nacional por tipo de industria en 2019
Fuente: Revista Internacional de Estadística y Geografía

En México, por cada tonelada de acero producido se requiere de 16.1 GJ, alrededor de 19% menos que el promedio mundial, esto debido a que su producción está ampliamente basada en el reciclaje, con aproximadamente

38% de participación, superando la media de 23% mundial (CANACERO, 2021). Esto es posible gracias a que el acero es un material con una de las tasas de recuperación más

altas, lo que significa que no pierde sus propiedades aunque sea remodelado (ALACERO, 2022).

Los procesos de fabricación de acero con materias de segundo uso dependen del origen de esta materia, por ejemplo, cuando es a partir del arrabio se emplea un convertidor con oxígeno, pero si es con chatarra entonces se utiliza el horno de acero eléctrico. La chatarra puede tener tres orígenes:

- Obsoleta: Productos e infraestructura que ya llegaron al final de su vida útil.
- Industrial: Desperdicio generado en el proceso de elaboración de otros productos.
- Doméstica: Se produce internamente en las acerías como resultados de la propia producción de acero.

La industria química se considera como aquella que produce plásticos. En 2021 ANIPAC anunció que el consumo de resinas fue de casi 7 millones de toneladas, de las cuales 18% fueron polipropileno (PP), y 17.34% fue polietileno de alta densidad (PEAD), ambos polímeros son utilizados para fabricar tuberías de agua potable y aguas residuales. También informó que del total de resinas, aproximadamente el 64% fue elaborado a partir de materia prima reciclada. De toda la producción de plásticos, el 12% corresponde a la edificación, de acuerdo con la misma fuente.

En el caso del cemento, un estudio relacionado con la construcción de vivienda social en México (Mercader-Moyano et al., 2021) determinó que la edificación consume 1.24 ton/m³ de materias primas y produce 0.083 ton/m² de RCD. De estos, los cementosos, cerámicos y mixtos representan el 83.44%. Lamentablemente, este estudio también reveló que el 78% de los RCD terminan en vertederos, siendo que solamente el 22% es recolectado y transportado a las plantas de reciclaje.

Por último, según la Revista Internacional de Estadística y Geografía (2023), es posible reciclar el vidrio de manera infinita sin que este pierda sus propiedades. A nivel nacional solamente se recicla alrededor del 12%, principalmente por situaciones de oferta y demanda (INECC, 2020).

Caso exitoso de la implementación de economía circular

Hay varias empresas en el país que han logrado implementar satisfactoriamente este modelo en sus procesos, pero esta cervecería en especial es del interés de este trabajo porque no solamente se preocupó por alcanzar sus metas de EC en la parte productiva, sino que todo el complejo donde operan fue construido y funciona bajo esta modalidad.

La planta de Heineken en Meoqui, Chihuahua, fue inaugurada en 2018 y desde el inicio se posicionó como la más sustentable de todas sus sedes a nivel mundial, ya que encontró la forma de utilizar solamente 1.9 litros de agua por litro de cerveza, cuando la media es de 4. Esto es aún más sorprendente si añadimos el hecho de que la cerveza es 95% agua. Y para 2030 tiene planeado eliminar por completo sus emisiones de CO₂.

Aunque esto es sorprendente, el verdadero milagro es la infraestructura de la planta, ya que casi toda la energía que consume la genera a través de celdas fotovoltaicas que tiene en todas las ventanas, así como los molinos que generan energía eólica. Con esto planean reducir en un 50% su energía térmica.

Además de esto, tiene su propia planta de tratamiento de aguas residuales, con la que genera biogás para poder calentar sus calderas. Y recicla o trata todos los residuos que genera.

Es claro que esta empresa le da mucha importancia a estar en la vanguardia de la innovación, pero no sólo hablando en cuestión tecnológica, sino en su mentalidad y compromiso por mejorar las condiciones del ambiente y de la sociedad misma. Heineken tiene 7 plantas en el país, 5 de las cuales se encontraban en zonas de estrés hídrico. Ellos hacían estudios constantemente y se dieron cuenta de que no podían seguir poniendo aún más presión sobre estas zonas, por lo que idearon estrategias para reducir su consumo de agua, logrando una reducción del 30% en los últimos 10 años.

Y la historia no termina aquí. Heineken entiende la importancia de cerrar el ciclo de vida de los recursos, por lo que se ha propuesto para 2025 ser capaz de regresar toda el agua que utiliza en su producción, a los mantos de donde los extrae, hito que ya ha logrado en 4 de las 5 plantas que se encontraban en zonas de estrés.

El ejemplo de esta compañía pretende demostrar que la aplicación de las estrategias de EC se puede hacer a nivel producto, pero lo que verdaderamente es necesario es llevarlo a mayor escala y cambiar no sólo los procesos y la tecnología, sino la mentalidad bajo la que se operan estos.

Conclusiones

Todavía falta mucho camino por recorrer a nivel nacional para poder alcanzar los objetivos propuestos por la EC, y a continuación se enlistan algunas recomendaciones hechas por la Revista Internacional de Estadística y Geografía y expertos del organismo Circular Economy Platform of the Americas, que contribuyeron al análisis del marco regulatorio de México realizado en el marco de la “Evaluación de la situación actual de la economía circular para el desarrollo de una hoja de ruta para Brasil, Chile, México y Uruguay”, realizada por el INECC y publicada en 2020, para agilizar la transición del país:

1. Establecer un marco legal e institucional que lleve a la industria del reciclaje a desarrollar su máximo potencial, así como homologar los ordenamientos jurídicos general, estatal y municipal, lo que evitará diferentes criterios aplicados en la gestión y control de una entidad a otra.
2. Crear definiciones claras y conjuntas que apliquen para todos los planes y programas en el país, de conceptos como los subproductos, residuos y su clasificación.
3. Eliminar el exceso de trámites burocráticos que retrasan la emisión de licencias y permisos.

4. Se debe eliminar la corrupción en los procesos implicados, ya que mucha veces esto significa para las empresas tomar “atajos”, que si bien les pueden llegar a ahorrar algo de tiempo y/o dinero, comprometen todos los esfuerzos y objetivos sustentables
5. Hacer de carácter obligatorio todos los esfuerzos en la cadena de valor por parte de las empresas, pero también promover el consumo responsable por parte de los usuarios.
6. Formalizar a la industria de los recuperadores, comercializadores y todos los oficios relacionados con el reaprovechamiento de los residuos.
7. Impulsar la participación de la población en el proceso de recuperación de residuos, promoviendo campañas de separación, mercados de trueque, etc., este ha demostrado ser un factor clave en países donde la EC ya es un modelo implementado, ya que reduce costos y tiempo, además de que facilita el proceso.
8. Fomentar la simbiosis industrial, la cual es un proceso en donde se busca imitar a los ciclos en la naturaleza y lograr que los residuos de una industria se conviertan en la materia prima de otra. Un ejemplo de esto es que, cuando el acero se encuentra en estado líquido, se producen subproductos, como es el caso de la “escoria”, que se separa y se usa para elaborar un aditivo que una vez inyectado en el cemento, hace que la resistencia del concreto se duplique.
9. Además de contar con equipos de alta tecnología para poder elaborar productos que sean de fácil reciclado, también es necesario contar con mano de obra preparada y capacitada no sólo para operar la maquinaria, sino también para localizar áreas de oportunidad en los procesos de fabricación y poder elaborar propuestas para mejorarlas y hacerlas aún más eficientes y circulares.

Aunado a esto, es necesario incluir los temas de EC en la educación en todos los niveles, ya que una población informada tiene más probabilidades de desarrollar soluciones y lograr una transición más rápida, así como establecer metas y objetivos claros con plazos definidos.

Ya hay varios países que están demostrando que es posible modificar nuestros modelos de producción y consumo utilizando como base las ideas de la EC, y especialmente en el caso de México ya existen industrias que están demostrando que nuestro país tiene el potencial de lograr niveles de circularidad por encima de la media internacional, por lo que una posible estrategia podría ser el tratar de replicar sus medidas de acción (con su correspondiente adecuación para cada uno de los sectores en donde se quiera implementar).

Nuestro país tiene mucho potencial para lograr la transición, y si se logran superar las barreras antes mencionadas, no sólo se va a ver beneficiado el medio ambiente, sino la calidad de vida de la población, quienes deben dejar su papel de espectadores y participar activamente, junto con el gobierno y la industria, en la creación e implementación de leyes, programas y planes que aceleren y faciliten este camino.

2.3.2. Marco legal para impulsar la transición hacia una Economía Circular

Aunque el país cuenta con varios planes y programas en donde se buscan aplicar los principios de la EC, en materia de legislación y políticas aún hay mucho camino por recorrer. Es muy importante que se empiece a dar más importancia a la necesidad de hacer de la sustentabilidad un factor obligatorio en las industrias, y esto se hace a través de la creación de normas que estandaricen, regulen, y hagan posible el cálculo de la tasa de efectividad de un plan de acción, así como de organismos que verifiquen el cumplimiento de estas.

Actualmente el marco legislativo en México es más de carácter prohibitivo, lo que quiere decir que sólo limita el uso de algunos materiales o procesos pero no propone alternativas verdes para estos. Otra limitante que tiene es que muchas veces estas leyes se enfocan en los problemas pequeños más que en el panorama completo. Por ejemplo, en 2020 el gobierno declaró que los comercios tenían prohibido entregar bolsas de plástico, así como popotes, hecho que fue visto como un gran paso hacia un futuro sostenible, cuando la realidad es, que según ANIPAC, estos apenas representan un 1% de todos los desechos plásticos. En cambio, las redes de pesca rotas (que son el residuo de más cantidad extraído del mar) no cuentan con ningún tipo de regulación.

Otra limitante que tienen las leyes vigentes es que muchas veces el apartado de sanciones es muy ambiguo o simplemente no existe. Como ejemplo está el caso de la Ley de Aguas Nacionales, LAN, donde, en lugar de especificar una multa para las empresas que contaminen un cuerpo de agua, solamente les exige que pidan un permiso para ello. Por último, un recurso muy valioso para impulsar a las empresas a cumplir de mejor forma con la ley, es el uso de incentivos, que también deben estar especificados en uno de los apartados de la norma.

A continuación se describen brevemente en qué consisten algunas de las leyes que consideramos más impulsan (o deberían) la transición del país a la EC, así como algunas políticas internacionales que van a servir para comparar su contenido frente a las aplicadas nacionalmente.

2.3.2.1 Ley General de Economía Circular, LGEC

México ha demostrado que tiene la intención de adaptarse a las necesidades actuales de la sociedad, donde la sustentabilidad tome gran relevancia dentro del desarrollo que toda nación busca y que su legislación esté dirigida al uso responsable de los recursos disponibles. La expedición de la LGEC se basa principalmente en lo establecido en La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos: artículo 4, párrafo 5°; artículo 25, párrafo 7°; y artículo 73, fracción XXIX-G; Donde el Estado busca que todos sus ciudadanos gocen del derecho de un medio ambiente sano para su desarrollo, salud y bienestar, para lo cual expide leyes en materia de protección al ambiente, de preservación y restauración del equilibrio ecológico, por medio del Congreso de la Unión.

Esta ley sigue siendo un proyecto de decreto, el cual fue aprobado el 17 de noviembre de 2021 por el Senado de la República. “Este ordenamiento busca que el valor de los productos, materiales y recursos se mantengan vigentes dentro del ciclo económico durante el mayor tiempo posible, para así reducir al mínimo la generación de residuos”. (SIL 2021)

Hoy en día se encuentra en espera de aprobarse por la Cámara de Diputados, para posteriormente publicarse en el Diario Oficial de la Federación, entrando oficialmente en vigor 180 días naturales después de su publicación, donde también se deberá expedir el Reglamento correspondiente. A su vez, y en consecuencia, se emitirá el Programa Nacional de Economía Circular dentro de los siguientes 6 meses a partir de que la ley entre en vigor, donde la Administración Pública Federal será la encargada de realizar esta tarea.

La LGEC representa un gran avance en materia ambiental para México, pero sería un error esperar para acatar su reglamento hasta que este sea expedido, en su lugar, todos los sectores e industrias deberían prever la incorporación de los criterios de economía circular dentro de sus procesos, no solo por el hecho de evitar las sanciones que la SEMARNAT impondrá, sino para adaptarse fácilmente al modelo emergente ya que entre en vigor y generar un impacto ambiental y social positivo en el transcurso.

Cabe destacar que la aceptación de la economía circular es dudosa dentro del Congreso de la Unión, y en general puede que también lo sea para el resto de la sociedad. Para la aprobación de este proyecto en particular, hubo 87 votos a favor, 77 en contra y 3 abstenciones. Es difícil imaginar el criterio usado para llegar a la conclusión de que una ley de estas características no deba ser promulgada y ejecutada a la brevedad, definitivamente requiere de enormes ajustes al sistema productivo, pero una participación colectiva puede facilitar el cambio, el cual resulta en beneficio para todos.

Esta transición económica debe abarcar toda la cadena productiva, por lo que se requiere principalmente la participación de los tres órdenes de gobierno, de la sociedad civil y de la industria para implementar este cambio sistémico. Cabe resaltar que existen iniciativas por parte del país, como la estrategia nacional de “cero residuos” lanzada en febrero del 2019, donde, como ya se mencionó, se da prioridad al aprovechamiento de materias primas en todas las etapas del ciclo de vida de un producto dado, además de que la prevención y minimización de residuos sobresalen en importancia respecto a la disposición final. Sin embargo, las propuestas por este y otros programas no se han plasmado formalmente para dar pie a una mejora decisiva en la gestión de residuos.

La Iniciativa con Proyecto de Decreto por el que se expide la LGEC consta de 13 capítulos, explicados brevemente a continuación:

- **Capítulo 1:** Sobre las disposiciones generales, nos habla de los objetivos de la ley, donde destaca la promoción de los criterios de economía circular dentro de las actividades económicas, mediante la difusión de una cultura de consumo responsable y el desarrollo tecnológico para reciclar, reutilizar y rediseñar productos. Incluye además los principios de economía circular y definiciones relacionadas.

- **Capítulo 2:** Abarca las responsabilidades que adquieren los tres órdenes de gobierno para implementar políticas públicas sustentables, tanto a nivel federal como de orden estatal y municipal.
- **Capítulo 3:** Promueve la participación de las personas físicas y morales en la implementación del modelo de economía circular, además de los organismos públicos. Donde todos deben presentar un Plan de Economía Circular, a excepción de los microgeneradores.
- **Capítulo 4:** Habla de las materias primas secundarias y los diferentes escenarios para reintegrarlos a la cadena de valor, ya sea recuperando y utilizando el propio recurso, o transformarlo en energía a través de procesos de valorización.
- **Capítulo 5:** El Estado en sus tres niveles de gobierno se compromete a generar políticas públicas de valor ambiental que cumplan con criterios de economía circular, las cuales se implementen de manera gradual y con metas establecidas, incentivando además a las actividades económicas que se apeguen a este régimen.
- **Capítulo 6:** Habla de los incentivos fiscales que pueden aplicar los contribuyentes por impulsar la reintegración de productos a la cadena de valor y el uso de materias primas secundarias.
- **Capítulo 7:** Describe los productos o bienes exentos de aplicar lo dispuesto en el cap. 5.
- **Capítulo 8:** Se establecen medidas para identificar información de impacto ambiental de los productos que se comercialicen dentro del territorio nacional, facilitando su separación y manejo.
- **Capítulo 9:** Solicita la incorporación de modalidades educativas que contemplen los temas relativos a la Economía Circular y el consumo responsable.
- **Capítulo 10:** Señala los instrumentos de fomento, control, manejo y mejora de la economía circular para efectos de la LGEC, como lo son planes y programas nacionales.
- **Capítulo 11:** Sobre los organismos operadores de la economía circular, quienes los conforman y su contribución.
- **Capítulo 12:** Hace mención de los grupos informales de personas acopiadoras de residuos, donde se les otorga apoyo gubernamental para desarrollar y regularizar su mercado.
- **Capítulo 13:** Describe las sanciones administrativas para los sujetos que no acaten la presente ley.

2.3.2.2 Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, LGEEPA

La LGEEPA fue promulgada el 28 de enero de 1988 y tiene por objeto garantizar la preservación y restauración del equilibrio ecológico y la protección al ambiente, en el territorio nacional, a través del establecimiento de políticas ambientales que tengan como pilares estratégicos:

- Garantizar el derecho de toda persona a vivir en un medio ambiente sano para su desarrollo, salud y bienestar.
- La preservación, restauración y mejoramiento del ambiente.
- Preservar y proteger a la biodiversidad con la que cuenta el país.

- Hacer un uso eficiente y aprovechar de manera sustentable todos los recursos naturales, de manera que sean compatibles con la obtención de beneficios económicos y las actividades de la sociedad.
- Prevenir y controlar la contaminación de aire, agua y suelo.
- Garantizar la participación corresponsable (responsabilidad compartida) de los ciudadanos en materia sustentable, de forma individual o colectiva.
- Establecer medidas de control, seguridad y sancionatorias, con apoyo de la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA).

Esta ley como tal no ofrece compromisos nacionales en materia de sustentabilidad y cambio climático en contraste con otras, sin embargo, establece que el Ordenamiento Ecológico es un instrumento de política ambiental que se deberá incorporar por ley en la planeación nacional del desarrollo, donde les compete a autoridades federales, estatales y municipales formular las diferentes modalidades del ordenamiento, el cual “busca regular o inducir el uso del suelo y las actividades productivas, con el fin de lograr la protección del medio ambiente y la preservación y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, a partir del análisis de las tendencias de deterioro y las potencialidades de aprovechamiento de los mismos”. (LGEEPA Art. 3, fracción XXIV)

Toca temas relativos a la evaluación de impacto ambiental y los instrumentos económicos que incentiven el cumplimiento de los objetivos de la política ambiental, de tal manera que los intereses de la población con actividad industrial, comercial y de servicios, sean compatibles con los intereses colectivos de protección ambiental y desarrollo sustentable. Además, se pide apoyo a la SEMARNAT para emitir más NOM's de materia ambiental y vigilar su cumplimiento a través de autorregulación y auditorías ambientales.

La SEMARNAT, en coordinación con la Secretaría de Economía, pueden ser los actores clave responsables de promover el uso de insumos y la comercialización de productos y servicios con menor impacto ambiental trazables mediante su análisis de ciclo de vida y de distintivos o certificaciones. (INECC 2021)

2.3.2.3 Ley General de Prevención y Gestión Integral de los Residuos, LGPGIR

La LGPGIR fue promulgada el 8 de octubre de 2003 y tiene por objeto “garantizar el derecho de toda persona al medio ambiente sano y propiciar el desarrollo sustentable a través de la prevención de la generación, la valorización y la gestión integral de los residuos peligrosos, de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial; prevenir la contaminación de sitios con estos residuos y llevar a cabo su remediación” (LGPGIR Art. 1, párrafo 2).

Esta ley se dio en consecuencia de la LGEEPA, considerando el manejo de residuos como una política ambiental que garantiza el desarrollo sustentable del país. No obstante, esta ley está adaptada al manejo de residuos de un modelo de economía mayormente lineal, donde tiene prioridad la reducción de residuos con un enfoque preventivo, pero sin considerar estrategias de rediseño de los productos para reintegrarlos a la cadena de valor.

Se enlistan a continuación las acciones a destacar de la LGPGIR, y que nos conciernen para aplicar la economía circular:

- Establecer una subclasificación de los residuos, facilitando su superación, manejo y disposición. Hasta ahora son identificados tres: los residuos sólidos urbanos, residuos peligrosos y residuos de manejo especial.
- Diseñar políticas ambientales, planes, programas, mecanismos e instrumentos orientados al manejo integral de los residuos.
- Promover la participación social, ya que los residuos pasan por la mano de todos los consumidores antes de depositarse en cualquier otro lugar.
- Establecer los criterios y disposiciones para la prevención en la generación de residuos, así como la corresponsabilidad entre los actores clave a lo largo de toda la cadena de valor.
- Promover la creación de mercados de comercialización de flujos de materiales residuales, bajo criterios de eficiencia ambiental, tecnológica y económica.
- Crear un Sistema de Información sobre la generación y gestión integral de residuos.
- Fortalecer la investigación, la innovación tecnológica y el desarrollo científico para diseñar alternativas para tratar residuos, orientado a procesos productivos más limpios.
- Exigir lineamientos de remediación para los responsables que causen contaminación en un sitio determinado
- Establecer los mecanismos de control, seguridad y sancionatorias. Con apoyo de la PROFEPA

Resulta imperioso el desarrollo de nuevos materiales que faciliten la tarea de desensamble y reensamble de los productos, evitando la obsolescencia programada y que se priorice el retorno de recursos para crear nuevos ciclos productivos de los materiales. Existen grupos de personas que de forma informal recolectan residuos y evitar que terminen en disposición final, esta ley es la ideal para tocar temas relativos a la formalización de su oficio y establecer alianzas respecto al aprovechamiento de residuos en condiciones dignas.

2.3.2.4 Ley de Transición Energética, LTE

La LTE fue publicada en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 24 de diciembre de 2015 y tiene por objeto regular el aprovechamiento sustentable de la energía así como las obligaciones en materia de Energías Limpias y de reducción de emisiones contaminantes de la Industria Eléctrica, manteniendo la competitividad de los sectores productivos.

Esta ley entra como sustituto de dos anteriores leyes: la Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (LASE) y la Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética. Donde 260 días después de que la LTE entró en vigor, la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE) fue la encargada de elaborar una Hoja de Ruta en materia de eficiencia energética.³⁶ Siendo esta una guía que establece la secuencia de pasos para alcanzar objetivos, donde se especifican participantes, tiempo y recursos necesarios.

Se enlistan a continuación las acciones a destacar de la LTE, y que nos conciernen para aplicar la economía circular:

³⁶ Secretaría de Servicios Parlamentarios. (2014). *Ley de la Industria Eléctrica*

- Planear el desarrollo de la industria eléctrica, incrementando gradualmente la participación de las energías renovables.
- Implementar acciones económicamente viables durante la transición energética, considerando también la viabilidad técnica, ambiental, administrativa, social y de ejecución.
- Incorporar la evaluación financiera de proyectos energéticos relativos a la planeación, ejecución, operación y expansión de la Industria Eléctrica.
- Definir los mecanismos para el despliegue y fomento a las energías renovables.
- Apoyar a la Ley General de Cambio Climático (LGCC) mediante la definición de metas de mitigación de GEI, y de generación de energía con fuentes renovables y limpias.
- Promover el aprovechamiento energético de los recursos renovables y de los residuos.
- Establecer obligaciones para adquirir Certificados de Energías Limpias, en particular para los bienes que durante su producción necesiten un uso intensivo de energía.
- Crear un Sistema de Información de Transición Energética.
- Los mecanismos de acción para aplicar la ley serán: La Estrategia de Transición Energética (ETE), el Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (PRONASE), y el Programa de Redes Eléctricas Inteligentes, además del continuo financiamiento e inversión para esta transición energética, contando con fondos suficientes para cualquier eventualidad.
- Establecer los mecanismos de control, seguridad y sanciones. Todo esto con el apoyo conjunto de la PROFEPA, la Comisión Reguladora de Energía (CRE), la CONUEE y la PROFECO.

Es importante destacar la necesidad de establecer modelos de negocios basados en la servitización energética, lo que se traduce en aumentar la funcionalidad de los recursos para que beneficien a un mayor número de personas a lo largo del tiempo, pasando de vender productos a servicios. Para el caso de la industria eléctrica, eficientar procesos para la transformación de energía es el punto clave, estimulando la participación del consumidor final al cobrar la cantidad de energía que utiliza, pago por uso, pago por horas de iluminación. Así es como el proyecto europeo “Efficient Equipment as a Service” ha demostrado que las compañías disminuyen su consumo sin necesidad de invertir en tecnologías costosas y ahorradoras, más que nada optimizando costos operativos.

2.3.3 Políticas de Economía Circular alrededor del mundo

Globalmente, son varios los países que están trabajando en diferentes etapas de la transición hacia la circularidad. Esto se debe a que, como ya se ha dicho varias veces, este modelo no sólo tiene beneficios ambientales, sino que genera riqueza y desarrollo social. Según el documento “¿Qué es la Economía Circular y cómo cuida al medio ambiente?” elaborado por la ONU, la EC tiene la capacidad de reducir hasta un 99% de los desechos en al menos la mitad de los sectores industriales, y el mismo porcentaje de emisiones de GEI.

Como la legislación aplicada en otros países no es del interés directo de este trabajo, sino que sirve como marco comparativo ante la de México, solamente se describirá de manera muy superficial.³⁷

España

Este país centra la mayoría de sus políticas en el manejo y reducción de residuos, con propuestas de rehabilitación de productos y combatiendo a la obsolescencia programada. Para esto cuenta con políticas como el Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos (PEMAR) 2016-2022 (basado en la utilización de la jerarquía de residuos), y la Estrategia de Bioeconomía Horizonte 2030 (orientada a la producción de bioenergía a partir de biomasa generada por el sector agricultor).

España ya tiene varios planes de acción y estrategias para lograr la transición, entre ellas impulsar el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) de todos los productos. Hasta ahora esto está mucho más enfocado a los plásticos, pero va poco a poco avanzando en todos los sectores.

Alemania

A nivel Europa es líder en la aplicación de políticas en materia de reciclaje de residuos. Desde 1994 cuenta con una ley llamada “Ley de Economía Circular y Residuos”, donde se centró en la separación de estos últimos, y desde entonces se hizo obligatorio en todo el país.

Al igual que en España, se ha concentrado sobre todo en plásticos, sobre todo empaques, los cuales por ley deben llevar una “etiqueta verde” que indica que tanto el productor como el consumidor están pagando una cantidad extra para que éste sea transportado y tratado para reutilización.

Unión Europea, Países Bajos y Gran Bretaña

Países Bajos en 2017 firmó el Acuerdo Nacional sobre la EC, donde uno de los objetivos es desarrollar una agenda con las actividades a seguir para lograr la transición para el 2050 en 5 sectores industriales, siendo uno de ellos la construcción.

En Londres existe el “Panel de Residuos y Reciclaje de la Capital Británica” desde 2017, donde se propone una hoja de ruta para el 2036 y se incluye a los Residuos de Construcción y Demolición.

París tiene el Libro Blanco, que promueve un modelo de producción y de consumo más “social, sostenible y colaborativo”.

Uruguay

Este país latinoamericano presentó en 2017 un Proyecto de Ley de EC Sostenible, de cuyas declaraciones nace el Programa Nacional de EC. Entre otras cosas, este demanda que todas las administraciones públicas prioricen las compras de productos fabricados con materias primas recicladas, que se den beneficios tarifarios a los productores que operen bajo los principios de EC, incluir en todos los programas educativos estudios sobre

³⁷ Toda la información aquí contenida se obtuvo de la *Iniciativa con Proyecto de Decreto por el que se expide la Ley General de Economía Circular*

sostenibilidad, e inclusive se logró crear el Fondo Nacional para la EC, que ayuda a financiar planes y programas de esta índole.

En 2019 se presentó el Plan Nacional de Acción de E, que busca impulsar a la investigación sistemática y la innovación para poder identificar los factores limitantes para la transición y eliminarlos.

Argentina

Tiene la similitud con México de que las políticas se van creando y cambian según la región del país. Cuenta con el Plan Nacional de Economía Circular de Residuos, que busca para 2025 el cierre de todos los basureros y tender a una disposición cero para el 2035. En este plan se considera también a los RCD.

Desde el 2016 el país cuenta con una ley sobre biocombustibles, y es parte del acuerdo de París.

China

Desde 2009 este país asiático promulgó su Ley de Economía Circular, con siete capítulos que van desde su definición hasta las medidas incentivos y las responsabilidades legales. Ahí se establece que la EC debe ser impulsada por el gobierno, llevada a cabo por el mercado y empresas, y defendida por la población. En su segundo capítulo habla sobre cómo se debe administrar la EC, y cómo deben redactarse los planes de desarrollo, debiendo contener objetivos claros, ámbito de aplicación, tareas a desarrollar, entre otros.

Esta ley decretó que todas las industrias que tengan un alto consumo de energía se regulen por la Ley de la Conservación de la Energía, y el encargado es el Departamento de Desarrollo de EC.

Algunos de los incentivos que se mencionan en el documento son fondos, incentivos fiscales, prioridad para obtener créditos, entre otros. En su último capítulo se detallan las sanciones y multas por incumplimiento.

2.4 Economía Circular en la construcción

Hasta ahora, este segundo capítulo se ha dedicado a abordar las bases fundamentales de la Economía Circular, además de los esfuerzos para llevar este concepto a la práctica, tanto en México como en el mundo, haciendo énfasis en el análisis del marco jurídico clave para dejar atrás a la contraparte de la EC, la economía lineal.

Es momento de empezar a evaluar la forma de adaptar este concepto a nuestro sector de interés, el de la construcción, así como estudiar las dificultades técnicas y humanas que impiden la adopción total del modelo en esta industria particular.

Después de reconocer todos los impactos que tiene la construcción dentro de un territorio (tanto positivos como negativos, así como de tipo económico, ambiental y social), queda evidenciada la necesidad de encontrar un balance entre el desarrollo urbanístico y la conservación del entorno donde este se lleve a cabo.

2.4.1 Esquematación aplicable

El llevar a cabo una obra de construcción, sea infraestructura industrial o una edificación, implica una serie de procesos donde intervienen numerosos agentes y actividades, por lo que resulta esencial seccionar esta cadena productiva en diferentes fases.

Para este estudio por fases, resulta conveniente utilizar un enfoque en el ciclo de vida de los materiales y recursos que se utilizan para construir, desde la extracción de materia prima hasta la disposición final de los residuos de tipo RCD, pasando por las etapas de fabricación de materiales, su utilización durante el proceso constructivo, la rehabilitación que necesiten a lo largo de la vida útil de la obra construida, su demolición al final de esta vida útil y la recolección de los recursos para trasladarlos a procesos de reciclaje o vertido. Esta corta explicación nos puede hacer pensar que hay un cierre de ciclos en el proceso productivo, pero está lejos de serlo.

El sector de la construcción, a pesar de tener todo el potencial teórico para adoptar el modelo de economía circular, sigue siendo un proceso mayormente lineal, donde no existe una gestión de residuos destacable. La mayoría de los residuos de construcción después de una demolición terminan en vertederos permanentes, donde cualquier material que entre difícilmente será recuperable y aprovechable.

Para que hablemos realmente de un ciclo en el uso de materiales, deben recuperarse estos residuos, de forma que no permitamos que se devalúen, reintegrándolos a la cadena de valor. Con esto en mente, se pueden aplicar los tres principios de la EC en cualquier industria.

Para el caso de la construcción, analizaremos en primer lugar un esquema del proceso lineal que se tiene actualmente, para finalmente contrastarlo con uno que se apegue a la EC. Estos esquemas fueron desarrollados en el Congreso Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) edición 2018, buscando ilustrar los procedimientos que sigue el sector de la construcción en España, de los cuales existe gran similitud con los que existen en México.

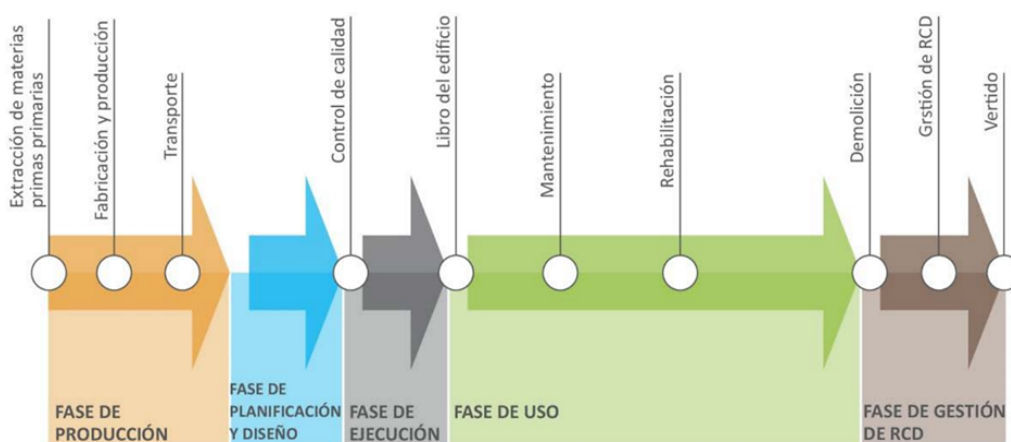


Figura 2.6: Esquema simplificado del proceso actual del sector de la construcción en España
Fuente: Revista CONAMA

Como podemos observar en la Figura 2.6, existen 5 fases fundamentales cuando se edifica, donde ningún elemento regresa a formar parte de una fase por la que ya haya pasado. A continuación, se enlistan las características principales de cada una de ellas:

- **Fase de producción:** Esta inicia con la extracción de materias primas desde un depósito de este recurso, el cual corresponderá seguramente a uno que se agote en Aun futuro. La fase continúa con el traslado de estos recursos a una planta industrial donde se producirán los materiales que finalmente se utilizarán en el sitio donde se ejecutará la obra de construcción, lo cual implica otro traslado adicional.
- **Fase de planificación y diseño:** En esta fase se conciben los materiales a utilizar para el proyecto, definiendo cuáles se comprarán, en qué cantidad y la fecha en que se adquirirán, considerando además un porcentaje de desperdicio por las posibles pérdidas de material entre trayectos, inventario y manipulación.
- **Fase de ejecución:** Se refiere a la construcción física del proyecto, según todos los detalles y especificaciones dadas en los documentos gráficos y escritos como planos, memoria descriptiva y constructiva, presupuestos, programa de obra, etc.
- **Fase de uso:** Nos habla del periodo de tiempo en que una edificación se encuentra habitada y se mantiene funcional para seguir proveyendo ese servicio. Esta fase incluye el mantenimiento, la reparación, rehabilitación o remodelación que necesite para que continúe operando según lo previsto. Donde además, cuente con los servicios públicos de suministro como agua, gas y electricidad.
- **Fase de gestión de RCD:** Ya que el proyecto ha terminado su vida útil, entra la fase donde se demuele la edificación y quedan como resultado los Residuos de Construcción y Demolición, los cuales se agrupan y se trasladan a un sitio de disposición final, comúnmente un vertedero inadecuado. Terminado así el ciclo de vida de los materiales con los que se llevó a cabo la actividad constructiva.

Ahora bien, analicemos el cambio que tendrían las fases de construcción si estas se basaran en un ciclo real y funcional tal cual describe la EC (Figura 2.7).

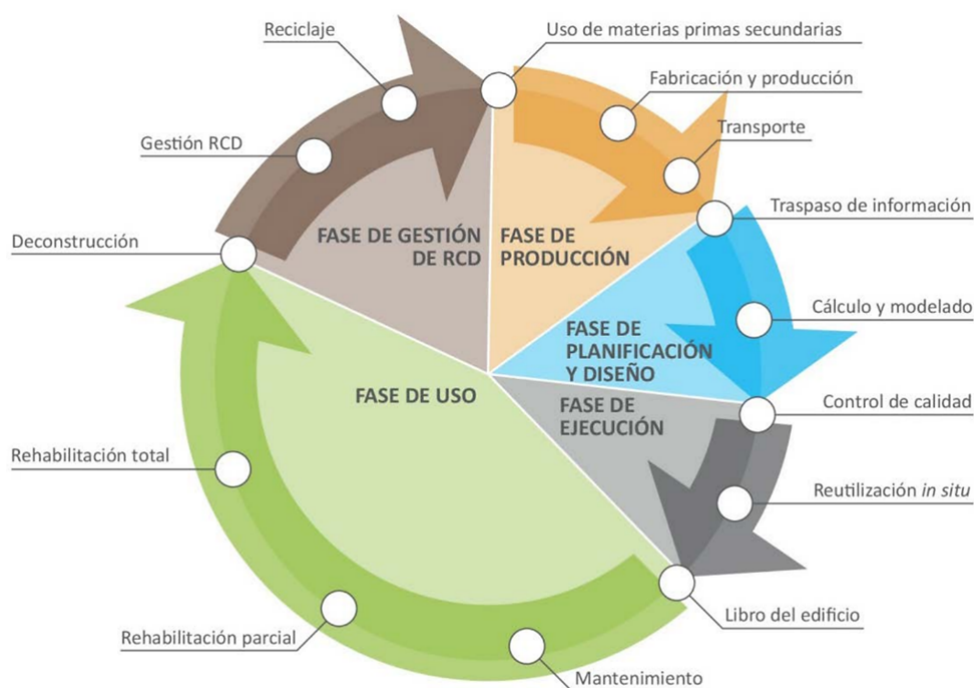


Figura 2.7: Esquema simplificado del proceso de ciclado según la EC
Fuente: Revista CONAMA

- **Fase de producción:** Desde ahora, en esta fase disminuye considerablemente la extracción de materia prima virgen, en su lugar se busca darles uso a las llamadas “materias primas secundarias”, las cuales provienen de la recolección y gestión de RCD de una obra, así como de cualquier otra de las fases donde existan sobrantes de material que aún sean aprovechables, según el control de calidad establecido. Esta sustitución de materiales permite la regeneración natural de las materias primas, evitando un agotamiento prematuro y definitivo de recursos.
- **Fase de planificación y diseño:** A esta fase se le debe destinar la mayor atención, debido a que se prevé todo el ciclo de los materiales, considerando que estos permanezcan funcionales durante el mayor tiempo posible, además de asegurar la gestión adecuada de los residuos una vez que cumplan su vida útil, esto mediante diferentes estimaciones y una cuantificación de los residuos recuperables, todo contemplado desde la etapa inicial del diseño de la edificación. Asimismo, existen herramientas de apoyo para tener una mejor planeación constructiva, eficientando los procesos y evitando los desperdicios de materiales y tiempos, tales como la Metodología BIM y Lean Construction.
- **Fase de ejecución:** Lo más destacable de esta fase debe girar en torno a acatar los lineamientos de la fase de planificación y diseño, evitando buscar atajos que parezcan contar con beneficios más próximos a los que se analizaron previamente, por lo que se requiere de una vigilancia y supervisión constante durante la ejecución de la obra.
- **Fase de uso:** A comparación del proceso lineal, las tareas de mantenimiento (preventivo, predictivo y correctivo) y rehabilitación (parcial o total) toman más relevancia debido a que para evitar tener residuos de los cuales preocuparse, se debe alargar la vida útil de los recursos que componen una edificación hasta que su funcionalidad y seguridad lo permitan, por lo que en algunos casos es posible incluso

cambiar su uso, por ejemplo, aunque se haya construido una obra con fin comercial, se debe tener la opción de adaptarse para uso habitacional, evitando la demolición y reconstrucción del espacio. Adicionalmente, el abastecimiento de servicios como agua y electricidad deben provenir de fuentes renovables, además de contar con sistemas ahorradores, donde la arquitectura bioclimática tenga una participación primordial.

- **Fase de gestión de RCD:** Esta es la fase donde se refleja que tan bien planificado se ideó el destino final de los “residuos”, los cuales se contemplan como recursos y no como algo desechable y reemplazable. De nueva cuenta se necesita un estricto control y vigilancia para llevar a cabo estas tareas de gestión de estos materiales. Existen múltiples formas de aprovechar estos recursos, pero la actividad primordial para que esto sea posible es la demolición selectiva (de la cual los elementos prefabricados toman gran relevancia, ya que tienen un fácil desmonte), donde se separan los diferentes tipos de residuos con el objetivo de reintegrarlos a las anteriores fases. A partir de la recolección, es posible utilizar residuos como: materias primas secundarias (donde inclusive se trasladen a industrias ajenas a la construcción), recursos para centros de reciclaje o remanufacturación (donde exista un lugar que realmente se dedique a realizar esta tarea y tenga el compromiso de restaurar o transformar estos materiales para utilizarlos en más procesos), aprovechamiento in situ del lugar donde ocurrió la demolición (ya que aquí se construirá una nueva obra), etc. Todo con el objetivo de que no terminen en vertederos, perdiendo su valor y degradando al medio ambiente.

Es así como podemos ver aplicado el modelo EC en el sector de la construcción. La Figura 2.8 muestra un diagrama más descriptivo que el anterior, ilustrando de forma clara el retorno de materiales a las fases por las que previamente habían pasado.

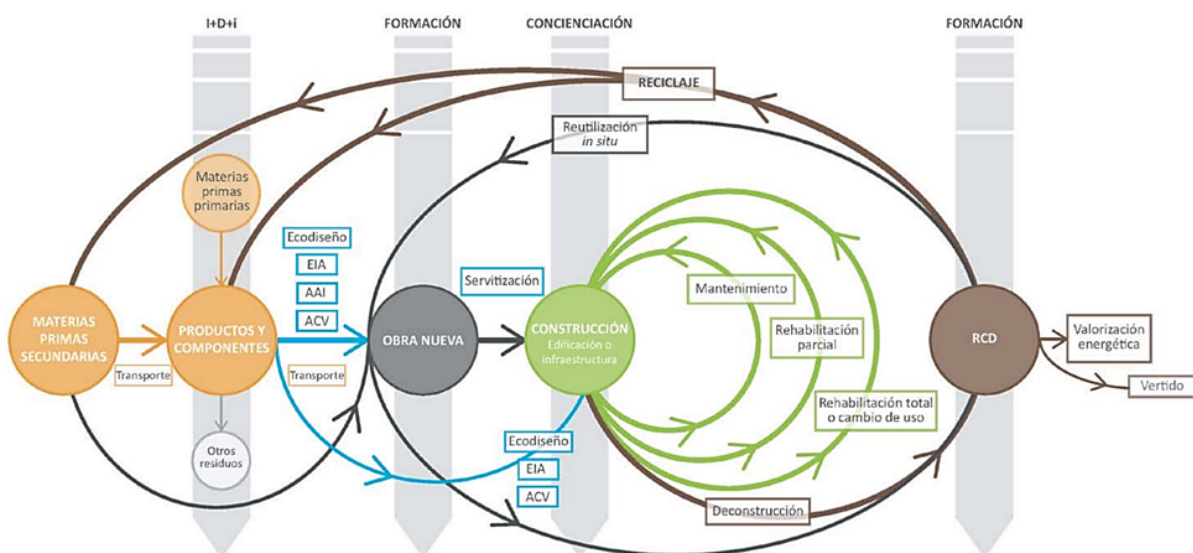


Figura 2.8: Esquema de reingreso de los materiales al aplicar la EC al proceso constructivo
Fuente: Revista CONAMA

2.4.2 Papel de los agentes que participan en cada etapa del proceso

La construcción es una industria que requiere de la participación de profesionales de distintas áreas, que se van involucrando en las diferentes fases del proceso de edificación, lo que significa que todos están relacionados y las acciones de los agentes involucrados en las fases tempranas van a mejorar o dificultar a los de las tardías.

Es por esto que en algunos textos se menciona la necesidad de crear un comité donde estén representados los principales agentes que intervienen, donde se puedan intercambiar ideas y visiones sobre el futuro del sector, y no solamente eso, sino que este diálogo les va a permitir lograr una mejor comprensión de las necesidades de cada uno de ellos, y en qué forma los demás pueden contribuir a facilitar los procesos de cada una de las fases.

A continuación se describe a los agentes que consideramos intervienen en las diferentes fases del proceso de construcción, y se mencionan algunas ideas de cómo podrían mejorar su papel para ayudar en la transición hacia la EC. Esto es importante porque así se puede identificar en qué área de su sector puede aplicar sus conocimientos en la materia para poder obtener los mayores beneficios, así como su nivel en el sistema.

Administraciones Públicas

En general, este agente debería poder analizar a fondo las estrategias que han implementado otros países más avanzados en temas de EC, y adaptarlas a las necesidades y características de México.

Dentro de este sector existen subramas, como la administración estatal, cuya nueva función sería marcar las estrategias a seguir en materia de EC, urbanismo y construcción. Las administraciones autonómicas por su parte deben poder adaptar las estrategias nacionales a las particularidades de las comunidades autónomas, que en nuestro país se traducen como comunidades rurales, en especial a lo que se refiere en materia de energía y captación de aguas pluviales.

La administración local podría encargarse de promocionar los proyectos de rehabilitación de edificios públicos mediante concursos o licitaciones, de esta forma pueden a su vez promocionar una contratación y compra pública sostenible. También, al ser la administración más cercana a los ciudadanos, son los más calificados para lograr acuerdos, colaboraciones, y sinergias entre agentes.

Extractores de materias primas

Todas las industrias involucradas en los procesos de extracción tienen un gran impacto tanto ambiental como visual, y se pueden clasificar en dos grupos: La industria maderera y la extractora.

La gestión forestal que existe en México es prácticamente inexistente. Aunque existen varios programas y esfuerzos de reforestación cada año, es muy común que una vez plantados los árboles, no se dé seguimiento a su desarrollo y por lo tanto muchos de ellos mueren a causa de falta de cuidados. El uso de la madera en la industria de la edificación

ha ido en aumento, ya que su proceso de transformación no es tan elaborado, además de que es un material reciclable y reutilizable, que le da un valor agregado a la construcción que se está realizando, tanto por su valor estético como por el lado ambiental, al tratarse de un material natural.

Por su parte, la industria extractiva se refiere a la que produce cementos, roca ornamental, yesos, arenas, entre otros. No es una sorpresa que se trate de la principal generadora de GEI, esto debido al uso de maquinaria pesada, vehículos de transporte, y aún más porque es muy común que sus procesos incluyan por lo menos una fase donde sea necesaria la combustión. Hasta ahora, la mejor estrategia para lograr reducir sus impactos ambientales es la aplicación de las buenas prácticas y contar con planes eficientes de restauración.

Por todo lo anterior, creemos que este agente cuenta con una gran área de oportunidad para implementar los principios de la EC.

Asociaciones de fabricantes e industriales

Este agente compila a todos los sectores industriales que están involucrados con la fabricación de los componentes utilizados en la edificación. Se dividen en:

- **Materiales:** Incluye a todos estos, no importando si son naturales o sintéticos. Estos van a ser los que le den la estructura a lo que estamos construyendo, su rigidez y la forma en la que se va a comportar frente a diversos fenómenos.
- **Componentes:** Son aquellos elementos acabados de locación (carpintería, luminaria, etc.)

Uno de los deberes de este agente sería involucrar al ecodiseño en su proceso creativo, para lo cual es necesario que invierta en tecnología y promuevan y consuman los materiales de segundo uso.

Transportistas

Una correcta gestión de este agente puede lograr reducir las emisiones de GEI. Para alcanzar este objetivo es necesario contar con un buen diseño y planificación en acciones como la reducción del volumen de embalajes y la optimización de rutas.

Profesionales

En este agente existen varias clasificaciones de grupos, y se refiere a las personas o asociaciones que se dedican a formar a la siguiente generación de profesionistas.

1. **Profesionales.** Son la representación de una profesión donde se promueve, técnica, social y económicamente a su gremio. También organizan encuentros, conferencias y debates, por lo que consideramos es su responsabilidad comenzar a introducir más el tema de EC en sus foros.
2. **Técnicos (ingenieros civiles, arquitectos, diseñadores).** Es necesario que se creen más empresas que funcionen con la participación conjunta, ya que de esa forma se logra la máxima eficiencia de optimización de recursos y es más fácil encontrar soluciones y hallar ideas para aplicar la EC.

3. Asociaciones de profesionales y empresas. Este se integra por grupos de personas físicas o jurídicas que se encargan de representar y defender los intereses del colectivo. Es su deber fomentar la innovación, difusión tecnológica y formación. También participan en el desarrollo del marco normativo, donde deben impulsar las políticas referentes a la EC.

Universidades y centros de formación

Para poder transicionar hacia los principios de sustentabilidad que propone la EC, se necesita de un cambio general de pensamiento, y esto sólo es posible si se hacen cambios radicales en la formación de los profesionales, quienes serán los que, en el futuro, deberán implementar, revisar, y ajustar las estrategias y planes que se generen.

Con esto en mente, el rol de las universidades en la EC no debe ser solamente enfocada en dar los conocimientos, sino que reforzarlos a través de impulsar la investigación, para crear la base científica donde se sustenten las innovaciones. Es su deber crear programas de estudios e investigación participativos y multidisciplinarios, fomentando la creatividad, discusión y experimentación.

Para el caso particular de la implementación de la EC en la edificación, una buena estrategia sería crear asociaciones de estudiantes entre carreras como ingeniería civil, arquitectura, biología, sociología entre otras, para discutir y diseñar formas de habitar sostenibles. Desafortunadamente, en el modelo de educación universitaria actual en México no hay lugar para esta convivencia entre estudiantes de distintas ramas de estudio.

Empresas Constructoras

Estas tienen un papel sumamente importante en la gestión de materiales y RCD del proyecto. La implementación de la EC por parte de estas empresas ayudará a reducir costos, así como desperdicios.

Empresas Promotoras

Son las que impulsan el marketing para que un proyecto se venda, por lo que es el puente entre los agentes de construcción y los usuarios finales. Es su responsabilidad cambiar su modelo de negocio para estar a la par con el cambio de mentalidad de la sociedad, quienes ahora exigirán también calidad ambiental.

Esta industria es clave para el desarrollo de la EC en la edificación porque tiene el poder para exigir dichos estándares de calidad, y es su deber darle prioridad a aquellos edificios que busquen el bienestar ambiental tanto como el social.

Usuarios

Si bien todos los agentes antes mencionados son clave para el desarrollo de la EC en la edificación, ninguno lo es tanto como la participación de la sociedad. Además de que estos son los que deben iniciar el cambio, con sus acciones y exigiendo a los demás agentes lo mismo; también serán los que tomarán las decisiones de mantenimiento, reparación y rehabilitación de los edificios, una vez se finalice la parte constructiva y se pase a la operativa. Son estas decisiones las que aumentarán o reducirán el tiempo de vida de una

edificación, así como el consumo de recursos (agua, energía, etc) durante esta fase, y deberán estar asesoradas por empresas especializadas para asegurar su efectividad.

Certificadores y Laboratorios

Ellos son los que aseguran que cierto proveedor ofrece los productos o servicios que cumplen con las especificaciones que prometen. Es necesario que sus controles de calidad sean estrictos, sobre todo cuando se va a introducir un nuevo material (y especialmente cuando están elaborados a partir de materias de segundo uso). Ya no sólo se requieren certificaciones técnicas (estudios de durabilidad, resistencia), sino también ecológicas, las cuales se deben regir por las normas ISO 14024 (establece un sistema voluntario de calificación ambiental que certifica que un producto tiene una afectación ambiental baja en todo su ciclo de vida), ISO 14021 (especifica los requisitos para las afirmaciones ambientales autodeclaradas, incluyendo enunciados, símbolos y gráficos relativos a los productos) e ISO 14025 (potencia la venta de productos poco dañinos con el medio ambiente, mejorar el diseño ambiental de los productos, y aportar información veraz sobre su elaboración y ciclo de vida), esta última también especifica el contenido de las Declaraciones Ambientales de Producto (DAP), que a su vez se basan en un Análisis de Ciclo de Vida, del cual se hablará en el siguiente capítulo.

Gestores de RCD

En el subtema 1.3.3.2 se abordó a detalle la importancia que tienen los RCD en el desarrollo de la transición hacia la EC, por lo que no se hará mucho hincapié en eso, sino solamente recalcar que los órganos gubernamentales deben hacer obligatoria la separación de residuos en obra, así como crear organizaciones que se encarguen de tratar cada uno con todas sus especificaciones: residuos peligrosos, cartón-papel, madera, metales, yeso, vidrio.

2.4.3 Retos y limitantes para el desarrollo de EC

Una vez revisados los roles que juega cada agente, está claro que todos deben hacer cambios en su estructura, sus modelos de negocio y producción. La EC requiere de un constante cuestionamiento que a su vez conlleva a un aprendizaje, así como herramientas de análisis y medición de los procesos. Tomando como base el análisis general presentado en la revista CONAMA³⁸, y todo el marco teórico presentado hasta ahora, en los siguientes párrafos se exponen las que consideramos serán las mayores barreras a superar para lograr la transición:

1. La creación de un marco conceptual, estratégico y normativo

Como ya se describió con anterioridad, actualmente no se cuenta con este, la aprobación de la LGEC es apenas el primer paso, pero aún falta un largo camino a recorrer para que se pueda hacer una adaptación para el sector de la edificación. Esta debe ser integrada por profesionales de distintas áreas para que pueda tener un carácter multidisciplinario y abarcar a todos los agentes involucrados, para así poder definir colectivamente los objetivos y metas comunes, al igual que las hojas de ruta para alcanzarlos, con el rol de cada agente y su estrategia bien asentados.

³⁸ Revista de la Fundación de la Comisión Nacional del Medio Ambiente. (2018). *Economía Circular en el sector de la construcción*.

En este reto también es pertinente mencionar que para que existan profesionales interesados en participar en la creación de este marco es necesaria la formación y sensibilización en temas relacionados con la EC, que empiece desde la educación básica, hasta los posgrados. Una sociedad informada puede lograr cambios más rápidos y concisos

2. Servitización

El reto en este tema es la inercia social a valorar más positivamente la propiedad o producto frente al alquiler o servicio. Afortunadamente podemos observar un panorama positivo en algunos ámbitos dentro de la edificación, por ejemplo en la maquinaria, donde es común que las empresas constructoras grandes les vendan sus máquinas usadas a empresas más pequeñas, es un proceso altamente planificado ya que desde que se adquiere el aparato nuevo se calcula cuántos años se va a tener en servicio. Además de ser un modelo de negocio mucho más sostenible, beneficia económicamente a ambas partes.

Se espera que en los próximos años este modelo se amplíe hacia otros sectores de la construcción, incluso hacia los inmuebles, donde poco a poco también se observa una tendencia nueva a preferir la renta sobre la compra, potenciada principalmente por la alta inflación observada en los últimos años.

3. Sistema de Información, SI

La creación de un SI que recopile y permita analizar datos que permitan medir la circularidad del sector, así como establecer objetivos, estrategias y realizar evaluaciones.

Desafortunadamente existen muchas carencias de datos en las fases de vida de los proyectos de infraestructura, desde qué materiales se está utilizando, en qué volumen, qué industrias generan subproductos, datos sobre la gestión de residuos, porcentaje de estos que se pueden reutilizar y quién puede hacerlo, etc.

Este sistema sería clave para poder evitar pérdidas en la trazabilidad del destino final de los residuos, ya que eliminaría la posibilidad de los vertidos ilegales, así como le pondría la condición obligatoria a la separación de residuos.

4. Extracción de materias primas

Existen materiales en la industria que han probado ser reciclables, especialmente los que son elaborados con materias que se extraen (el caso de los cementos, áridos, cales, yesos), pero para lograr que esto sea una realidad es necesario estandarizar y regular la separación de residuos tras el proceso de demolición para evitar su contaminación.

Para poder lograr esto, apoyarse de un Análisis de Ciclo de Vida es fundamental, así como la aplicación de buenas prácticas y evaluaciones periódicas. Complementario a esto, se debe disponer de un plan de restauración por parte de la industria minera, con un plan financiero que garantice su ejecución.

5. Productos de construcción

Una de las limitantes para aplicar el modelo de EC en la construcción es que los materiales que se utilizan no son de tan fácil sustitución, pues deben cumplir estándares de dureza,

fallas a flexión y cortante. Hay investigaciones que sugieren la creación de materiales con plásticos u otros materiales reciclables, pero ninguno ha podido igualar las condiciones normales, aunque esto no signifique que sus resultados hayan sido inaceptables según las normas que establecen estos parámetros. Además, en el caso de México los materiales no sólo son sometidos a las condiciones de estrés propias de una edificación, sino que también son víctimas de una cantidad considerable de fenómenos naturales, entre ellos sismos, huracanes e inundaciones.

Esto genera poca aceptación por parte de los constructores, una limitante que se puede minimizar con el establecimiento de certificaciones reconocidas por parte de todo el sector que acrediten su seguridad, calidad y durabilidad. Estos deben incluir información ambiental de los productos, así como su análisis de ciclo de vida, e instrucciones para su mantenimiento, reutilización, reciclaje, etc., tomando en cuenta que estos deben tener parámetros homogéneos previamente establecidos.

Otra estrategia que ayudará a superar esta limitante será ofrecer algún tipo de estímulo fiscal que favorezca el uso de materiales elaborados a partir de materias primas de segundo uso, por sobre los tradicionales.

6. Fase de diseño (planificación)

Una de las características de las edificaciones es que no existe este concepto de obsolescencia programada. Desde la primera fase del ciclo de vida de un edificio, es decir, cuando se está diseñando, se debe establecer la vida útil que se desea que tenga. Sin embargo, al final el número real de años que sea funcional va a depender de diferentes factores.

En la revista CONAMA (2018) se mencionan los siguientes principios de ecodiseño que han probado ser determinantes para aumentar la vida útil de una construcción: alta durabilidad y calidad, debe ser reparable y reutilizable, lo que significa que tenga flexibilidad para darle un uso distinto para el que fue planeado. Poder implementar estos principios sólo será posible si se establecen los criterios de diseño y se imparten los conocimientos para lograr cambiar lo que hasta ahora se conocía como edificio estándar; así como apoyar con incentivos económicos a los edificios diseñados con estas características.

Para lograr el máximo efecto, lo ideal sería que, al realizar el diseño de un edificio, se tome en cuenta su participación en la planificación urbana, lo que involucra a otros sectores, y tiene varias ventajas, como potenciar la movilidad sostenible (hacer distancias accesibles a pie entre edificios, asegurar que cada uno tenga fácil acceso a modos de transporte o vías ciclistas), o crear un modelo de optimización hídrica, que ayude a crear redes de alcantarillado y distribución de agua potable con el menor riesgo de fugas, así como la mínima utilización de material posible.

7. Fase de ejecución

Clasificados principalmente en tierras de excavación y RCD. Las primeras generalmente terminan siendo reutilizadas en otras obras o en rellenos, pero los segundos son mucho más difíciles de gestionar, debido a que muchas veces, aunque sí se cuenta con un plan de

manejo establecido desde la primera fase del ciclo de vida de la edificación, las decisiones tomadas en obra no concuerdan con estos planes. Las ventajas de tener una buena disposición de los RCD incluyen reducir materiales, reutilización in situ, y evitar sobrecostos.

8. Operación, mantenimiento y rehabilitación

Si bien todas las etapas de un proyecto son importantes para lograr la circularidad, esta en específico es la que mayor impacto tiene para alcanzar el objetivo de mantener los recursos dentro del ciclo el mayor tiempo posible. De acuerdo con los cuidados que se tengan durante esta fase, la edificación podría aumentar o disminuir la vida útil planificada.

8.1 Mantenimiento

Al observar los edificios que han existido en nuestro país por años, podemos concluir que no existe una conciencia real de la importancia y las consecuencias de un sistema de mantenimiento eficaz.

En este sentido los retos a superar incluyen un cambio en la mentalidad de los usuarios, donde se haga notar la necesidad de alargar la vida útil de la construcción que se está utilizando, para que estos traten con los debidos cuidados a sus instalaciones; también se debe cambiar la visión de los propietarios del inmueble, haciendo hincapié en el beneficio económico que van a traer a largo plazo estas operaciones, y creando sanciones e incentivos gubernamentales que promuevan estas buenas prácticas.

8.2 Rehabilitación

Se refiere a que un edificio se puede adaptar a las características de su entorno. Generalmente se hace para mejorar el rendimiento energético y minimizar las emisiones de GEI, por ejemplo, con las recientes disminuciones de temperatura durante los meses de invierno, algunos edificios podrían optar por incluir aislantes térmicos en los muros, para que el calor se aproveche de mejor forma, y, si bien no va a ser posible que se deje de usar la calefacción, si podría disminuir su uso.

Otras veces se hacen modificaciones para que el edificio logre ser reparado más fácilmente, o se cambian algunos de sus componentes por otros que hayan sido fabricados con materias primas de segundo uso. Esto último generalmente se aplica más hacia elementos decorativos.

9. Demolición

Uno de los retos que presenta esta fase es que debe convertirse en una operación selectiva, lo que quiere decir que sus componentes se puedan separar relativamente fácil, esto permite un reciclaje más sencillo de los materiales, o de no ser posible, una revalorización. Un ejemplo de este tipo de construcciones se hizo presente durante la Copa Mundial de 2022, en Catar, se construyó un estado completamente desmontable, con capacidad para albergar a 40 mil personas, llamado "974", porque se utilizaron 974 contenedores de transporte de carga marítima para su construcción, que serán utilizados para crear nuevas instalaciones en Catar, aunque otros más serán donados a países subdesarrollados.

10. Residuos de Demolición y Construcción

La limitante más grande para tratar con estos desechos es que no se siguen las estrategias por parte de los encargados de obra, y no existen recursos suficientes para vigilar adecuadamente que se cumplan. Esto genera la descarga en vertederos no regulados, que es aún más difícil de regular cuando se trata de obras menores (domiciliarias).

Una de las propuestas que se han hecho recientemente en España, es definir una serie de características para considerar a un residuo como subproducto, en lugar de un desecho, que incluyen: certeza de que se va a utilizar en un proceso posterior; que el objeto se pueda usar directamente, sin necesidad de someterse a un proceso de transformación; entre otros. Esta propuesta puede ser adaptada y aplicada a las condiciones de México, y ayudaría a poner fin a la condición de residuo, al establecer operaciones de valorización.

Sobre este concepto, La Comisión Europea dice: "Cuando no se pueden evitar o reciclar los residuos, en la mayoría de los casos y tanto desde el punto de vista medioambiental como económico, es preferible recuperar su contenido energético en vez de depositarlo en vertederos". Esto nos da a entender que una alternativa al vertido es aprovechar el poder calorífico de los productos y transformarlo en una fuente de energía alternativa. Esta propuesta genera incertidumbre, pero es una opción que valdría la pena explorar.

11. Materias primas secundarias y reciclaje

Una vez que un material ha llegado al final de su vida útil, este puede transformarse en una materia prima secundaria y ser utilizada para crear un nuevo producto, evitando así la extracción de recursos naturales.

Algunas soluciones a los retos que esta idea presenta son: los residuos, una vez terminada su vida útil, deben de separarse y tratarse adecuadamente, y debe darse más promoción a la separación en áreas con gran densidad de población y por lo tanto mayor relación de construcciones por cada año. Se debe generar un sistema de calidad que regule las características y garantice la seguridad de volverlo a utilizar sin riesgos sanitarios o de otro tipo. Por otro lado, para promover la utilización de estos materiales se pueden establecer acuerdos entre sectores para la comercialización de estos (muchas veces la "basura" de unos puede ser el combustible de otros), así como incentivar el uso en un cierto porcentaje de materias primas de segundo uso en las obras, incluso nos gustaría proponer el considerar si sería pertinente hacerlo obligatorio.

Capítulo 3. Análisis del Ciclo de Vida, ACV

Como ya se mencionó en el capítulo anterior, uno de los mayores retos para poder implementar la EC en el sector de la construcción es que no se cuenta con instrumentos que permitan medir el potencial de circularidad de la industria, razón por la cual este capítulo expone las ventajas de utilizar a la herramienta conocida como Análisis del Ciclo de Vida para este propósito, incentivando su uso en la construcción y en un futuro superar las limitaciones con las que actualmente cuenta esta metodología.

Esta idea de relacionar a la EC con el ACV surge de la realización de que los principios en los que se fundamentan ambos son los mismos: la reducción de residuos e impactos ambientales en la elaboración de productos, los esfuerzos por maximizar su vida útil, y el asegurar un retorno de valor al ciclo una vez concluyan su función.

Para comprender la definición de ACV, nos trasladaremos a la serie de normas ISO 14001, que es la encargada de regular temas de gestión medioambiental, específicamente la ISO 14040:2006 y la ISO 14044:2006 para definir y describir la metodología del ACV, respectivamente. Estas mismas normas otorgan la definición más certera del estudio: “El ACV es una técnica para recopilar y evaluar las entradas, las salidas y los impactos ambientales potenciales de un sistema del producto a través de su ciclo de vida.”

El ACV se desarrolla utilizando un análisis multicriterio, y se hace con la finalidad de optimizar los recursos y la energía que consume un producto, a través de la definición de la *unidad funcional*, que “es una referencia respecto a la cual las entradas y salidas del sistema pueden ser normalizadas en un sentido matemático para poder comparar dos sistemas diferentes” (Díaz & Escárcega, 2009).

En este capítulo se abordan algunas ideas para diversificar el alcance de los resultados obtenidos cuando se realiza un ACV. Para el caso de la construcción se decidió separar las propuestas para los materiales de construcción, tomando en cuenta fases que abarcan desde la extracción hasta la disposición final, y para un proceso de edificación. Este último fue mucho más desafiante, puesto que el ACV está pensado para analizar productos y no procedimientos. Por último se detallan las características de algunas herramientas de software que utilizan esta metodología de análisis como base y que consideramos pueden ser de gran utilidad para la industria.

3.1 Antecedentes

Es posible rastrear los orígenes del ACV hasta los años setentas, cuando tanto en Estados Unidos como en Gran Bretaña hubo un embargo de petróleo, lo que generó desesperación por encontrar una fuente de energía alternativa, para lo cual se pensó en idear una metodología que fuera capaz de valorar la eficiencia energética de estas para así poder encontrar la de mayor rendimiento.

Ya existía un precedente de esto, ya que en 1969 la compañía Coca Cola realizó un estudio que comparaba los diferentes tipos de envases que podían producir ya que se deseaba encontrar el que consumiera menos recursos y energía para su fabricación.

Desafortunadamente, una vez superada la crisis de petróleo, el interés por desarrollar esta metodología decayó, y no es sino hasta los años ochentas cuando la Sociedad de Toxicología y Química Ambiental (SETAC) impulsa la discusión del tema nuevamente, y en 1993 formula el "Código de Práctica para los Análisis de Ciclo de Vida", cuyo objetivo era homogeneizar los estudios relacionados con la eficiencia energética, los recursos utilizados, y las emisiones de GEI de un producto, lo que permitió unificar la metodología ACV.

Actualmente se admite que la técnica no ha sido realmente modificada desde entonces, y que si bien sí cubre ampliamente los aspectos ambientales de un producto, hay otros factores que deberían ser tomados en cuenta para poder decidir si verdaderamente el proceso se está ejecutando de la manera más eficiente. Es por esto que se considera que la mayoría de los ACV se realizan de forma parcial, (sólo se practica la fase de inventario, que será descrita más adelante), y casi siempre en el sector de los envases (casi 50% de todos los estudios realizados están enfocados en este), seguido de la industria química, materiales de construcción y sistemas energéticos.³⁹

Recordando el Capítulo 1, en el apartado de RCD, donde se menciona que hay 4,528 empresas recicladoras registradas, 284 que reutilizan, 121 que recuperan y 71 que reduce y reparan, según el directorio de empresas y establecimientos del INEGI, podemos llegar a pensar que las acciones necesarias para aumentar la circularidad de los productos están siendo cubiertas. Sin embargo, cada empresa productora debe apegarse a un estudio ACV para mitigar su propio impacto ambiental, inclusive el Banco de México ha utilizado la metodología con un enfoque organizacional, no sólo estudiando los procesos de fabricación de billetes, para evaluar la gestión ambiental del Complejo Legaria, proponiendo acciones que permitan mejorar su desempeño ambiental. Aún así, la tasa de circularidad en México con un valor de 15.14%, refleja que aún existen muchas áreas de mejora, sobre todo en las industrias del acero, petroquímica, cemento, alimentaria, minera, automotriz, papel, etc.

3.1.1 Fases del ACV

Según la normatividad ISO explicada al inicio del capítulo, existen cuatro fases fundamentales que conforman un estudio ACV:

1) Fase de definición del objetivo y alcance

Es importante tener claridad de cuál es el objetivo definido del estudio; por ejemplo, conocer el consumo de agua por cada mil metros cúbicos de concreto curado, para posteriormente buscar estrategias para efficientarlo.

Asimismo, el alcance del estudio depende de:

- La unidad funcional, que es una medida que establece el evaluador según el indicador o consumo que se desea conocer, y debe estar relacionada a una unidad

³⁹ Dato obtenido del Análisis del Ciclo de Vida y la Gestión Ambiental (2003) de Romero R. y Blanca I.

matemática que permita su cuantificación. Por ejemplo: las emisiones de una motoconformadora por cada mil kilómetros recorridos.

- Las etapas del ciclo de vida, considerando los procesos unitarios necesarios para obtener el producto final y cómo éste avanza a lo largo de la cadena de valor hasta llegar al final de su vida útil, donde no es que haya perdido valor, sino que cambiará la forma en cómo se tenía concebido su aprovechamiento.

Existen muchas formas de dividir esta cadena productiva, y para el caso particular de la construcción, proponemos cuatro fases principales y sus respectivas subfases:

- **A Fase de producción**
 - A1 Extracción de materias primas: Obtención de materia prima virgen desde su depósito, ya sea natural o artificial, donde también se puede hacer uso de las materias primas secundarias.
 - A2 Transporte: Transporte de cada proveedor de materia prima hasta la planta productora, tomando en cuenta el combustible necesario
 - A3 Fabricación y producción de materiales: Proceso de fabricación del producto final en planta, considerando consumo de agua y energía
- **B Fase de uso**
 - B1 Transporte de materiales: Transporte del producto terminado hasta el punto de consumo
 - B2 Instalación: Colocación del material según el proceso constructivo que especifica el proyecto, considerando materiales auxiliares.
 - B3 Consumos operativos: Para algunos materiales, es necesario tener contemplado los recursos que gastan continuamente después de su instalación, como el equipo lumínico, sanitario, de alcantarillado, etc.
 - B4 Mantenimiento: Acciones y cuidados para alargar la vida útil del material
 - B5 Reparación: Intervención para restituir algo que está dañado a su forma original, utilizando la mayor cantidad de sus componentes originales.
- **C Fase de fin de vida útil**
 - C1 Rehabilitación: según el nivel de deterioro, es necesario renovar las instalaciones y materiales usados, cambiándolos por los que cumplan los niveles de funcionalidad y seguridad adecuados
 - C2 Deconstrucción: Ya sea en forma de desmantelación o demolición integral, tratando de recuperar la mayor cantidad de material aprovechable.
 - C3 Transporte: Incluye la recolección de los diferentes restos de material, hasta su depósito en un centro de acopio o de vertido.
- **D Fase de gestión de RCD**
 - D1 Reuso - remanufacturaación - reciclaje: transformación de recursos en material reciclado apto para su reutilización. O en su caso, y si el material es funcional en su totalidad al pasar por la deconstrucción, trasladarlo a una obra en proceso de construcción.
 - D2 Uso como materias primas secundarias: Aprovechando recursos que ya cumplieron al menos un ciclo de vida, en lugar de extraer material virgen.
 - D3 Disposición final: La opción menos deseable, depositar los residuos no aprovechables o que carecen de un plan de gestión en un vertedero no controlado.

2) Fase de análisis del inventario de ciclo de vida

El Inventario de Ciclo de Vida (ICV) es una herramienta que forma parte del ACV; básicamente se trata de la elaboración de una lista con todas las entradas y salidas del sistema a analizar, que debe ser expresada de tal forma que se pueda cuantificar. Se puede decir que el ICV se basa en la teoría del “cradle to cradle” (consultar apartado 2.2.1. de esta tesis).

La forma de elaborar un ICV es a través de un esquema donde se muestran los inputs, que son el uso de las materias primas, el consumo de energía y agua; luego los impactos de los procesos relacionados a la fabricación, como son la adquisición de esas materias primas, la manufactura como tal, el transporte y distribución, el uso, reúso y mantenimiento del producto, y finalmente el manejo de los residuos generados por este. En una columna adicional se colocarán los outputs, los cuales incluyen los productos y subproductos generados en el proceso, la contaminación en aire y agua (o de cualquier otro tipo), los residuos sólidos generados y cualquier otro tipo de emisiones que hayan sido producidas.

En lo referente a la fabricación de materiales de construcción, este esquema quedaría como se muestra en la Figura 3.1

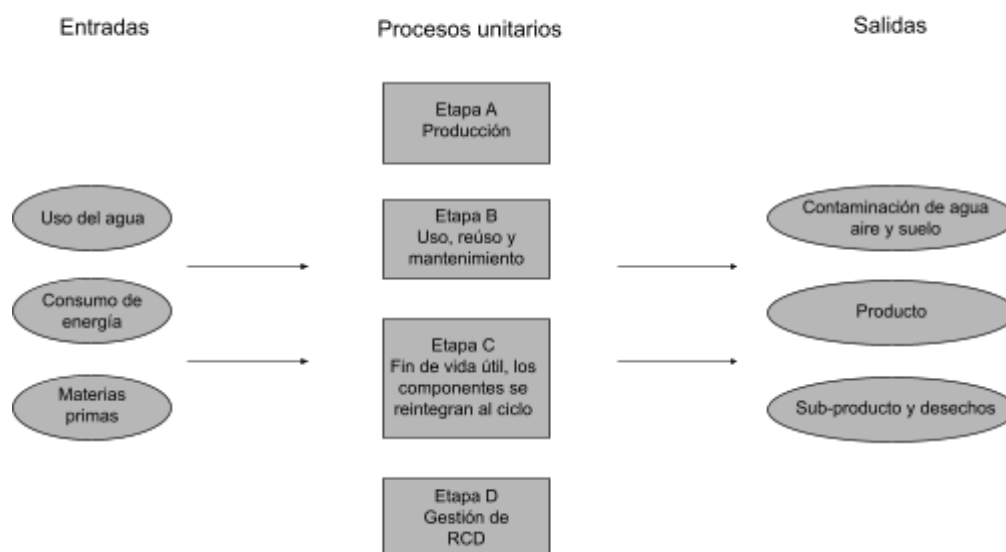


Figura 3.1: Esquema representando el ICV de los materiales de construcción

Fuente: Elaboración propia

Cada empresa puede agregar los indicadores que les interese medir, en este sentido, un formato que haría del ACV mucho más integral es el Eco-Indicador 95, que además mide los efectos que dañan la salud humana y a los ecosistemas, a través de efectos como los el agotamiento de la capa de ozono, el calentamiento global, los pesticidas, la eutrofización, entre otros. Los daños se pueden medir ya sea por índices de enfermedades o muertes tanto en personas como en flora y fauna relacionadas a alguno de los efectos antes mencionados, aunque existen muchas alternativas.

3) Fase de evaluación del impacto del ciclo de vida (EICV)

Su finalidad es lograr expresar los resultados del ICV de tal manera que se puedan interpretar, ya que recordemos que la información recabada hasta ahora no resuelve directamente la pregunta de qué producto es ambientalmente mejor que otro, sino que se crea una base de datos de uso de energía, materiales, e impactos en relación a una unidad funcional. Esto se plasma en una llamada “tabla de impactos”, en donde se escriben todos los efectos que se están evaluando y los resultados (en número y expresados en la unidad fundamental), del producto que se está analizando.

Estas tablas sí pueden servir de base para una comparación entre productos, pero no es tan simple como ver los resultados de un solo indicador y emitir un juicio, sino que es necesario hacer una ponderación entre todos estos para poder tomar una decisión acertada, considerando un criterio propio sobre qué indicadores tienen mayor peso o relevancia para el interés de la empresa.

4) Fase de interpretación del ciclo de vida

Se resumen e identifican los resultados de la EICV, tomando como base el objetivo y el alcance definidos, para proponer posibles soluciones o estrategias de mejora a través de una revisión crítica.

Las propuestas de mejora deben enfocarse en procesos productivos más amigables con el ambiente, que no conlleven el nivel de contaminación actual y que se optimice la utilización de recursos, conociendo la huella ecológica que implican los procesos.

Además, la revisión crítica nos valida el ACV como veraz, dada la metodología utilizada y la recabación de datos e información.

3.2 ACV de los materiales de construcción

La mayoría de estudios sobre el ACV están relacionados con los envases, pero es posible aplicar esta metodología a cualquier material que se fabrique. No fue pensado para poder evaluar más allá de los productos per se, es decir que sería muy complicado tratar de aplicar esta metodología a un proceso, puesto que se basa en la vida útil y las materias primas consumidas para fabricar algo en específico, no de un proceso productivo como tal. Es por esto que para poder aplicarlo en el análisis de la circularidad del sector de la construcción es necesario separarlo por fases, de manera simple podemos decir que son:

- Extracción y fabricación de materiales
- Planificación y diseño
- Construcción del proyecto
- Operación y mantenimiento
- Demolición

Si bien todas estas etapas generan residuos y contaminación al ambiente, la primera es la que lo hace de forma más inmediata. Y al ser la única fase que se basa en la elaboración de productos, es la más indicada para poder poner en práctica este análisis.

En México la mayoría de empresas dedicadas a los materiales de construcción realizan ACVs parciales, esto se debe mayormente a que no existe una organización o alguna norma que regule este análisis, por lo que no se puede garantizar que los documentos generados realmente cumplen con el objetivo. Además, las empresas los realizan internamente y bajo mucha discreción, por lo que sus resultados no están disponibles de forma pública. Esto genera otro problema: la falta de información entre los distintos agentes que participan en la cadena de producción y que son la clave para poder generar estos sistemas de ciclo cerrado que propone la EC.

Una de las fases más retadoras del ACV es la definición del objetivo. Esta no solamente implica establecer la unidad fundamental, sino que hay que seleccionar cuáles son los indicadores que se van a tomar en cuenta en el estudio. Esto se debe a que no podemos utilizar los mismos para la fase de fabricación, que en la de instalación, que para su uso en la operación del edificio. Con esta idea en mente, nos percatamos que era necesario identificar y definir cuáles son los periodos en los que se divide la vida útil de los materiales, dependiendo de en qué parte del proceso de construir una edificación se van a utilizar y por lo tanto se desean conocer los impactos.

Se delimitaron entonces tres periodos, que a continuación se describen, y se propone a un responsable para encargarse de hacer el análisis en esa fase, así como algunos de los datos que consideramos deben incluirse en el estudio para conocer sus impactos no sólo ambientales (que es como hasta ahora se han venido haciendo), sino también económicos, en la salud e interacciones humanas, entre otros.

3.2.1 Extracción y fabricación

En esta primera fase lo que más le va a interesar a las empresas que se dedican a estos procesos (cementeras, madereras, acereras, etc.) es conocer el método más óptimo para producir, para esto necesitan considerar los costos operativos y de los insumos que van a requerir, pero también se debe considerar la contaminación al ambiente y efectos nocivos hacia las poblaciones humanas.

Recordemos que los fabricantes van a ser el primer agente encargado de recopilar esta información, que posteriormente será leída y analizada por los constructores que estén en el proceso de elegir el material más conveniente para su proyecto. Es por esto que si la empresa está preocupada por elegir el método que le genere el mayor rendimiento económico, debe ser consciente que no puede simplemente elegir el método que le resulte más barato, sino el que mejor se adapte a las demandas generales de la industria y sus consumidores, quienes han mostrado una tendencia de mayor valorización hacia los productos amigables con el medio ambiente y que tengan una vida útil de larga duración.

Teniendo esto en cuenta, las consideraciones para realizar un ACV en esta etapa son:

- Operativos: el desgaste de las máquinas de extracción, de la maquinaria de fábrica, los combustibles utilizados, desperdicios.

- Ambientales: emisiones de GEI, efluente de agua contaminada, impactos de la extracción de materias primas, tala de árboles, introducción de metales pesados en el suelo, impactos en la flora y fauna del sitio de extracción, y cualquier otro impacto que se haya tenido sobre un ecosistema.
- Sociales: afectaciones semipermanentes o permanentes a las sociedades cercanas de donde se realizó la extracción, contaminación lumínica y auditiva, afectaciones a la salud humana, seguridad de los trabajadores.
- Económicos: costo del combustible de la maquinaria, costo de energía y agua, costo de envasado y transporte a tiendas, costo de las materias primas, costos de compensación (si aplican), salarios, renta, transporte del sitio de extracción a las instalaciones.
- Complementario a esto es necesario que el fabricante elabore un plan de disposición de residuos, que especifique los componentes que se pueden revalorizar, y cómo disponer de los que no. No es su responsabilidad el vigilar que este sea cumplido, pero sí se trata de una ayuda muy grande para el agente encargado.

Hoy en día, y propiciado en gran parte por un cambio en la cultura ambiental, existen más opciones de materiales que prometen ser menos dañinos de alguna forma, y la más frecuente es a través de una reducción en los gases que emiten. Incluso hay algunos que se auto catalogan como “Net Zero”, afirmando que su impacto en emisiones fue completamente eliminado. Si bien estos fabricantes logran reducir ligeramente los contaminantes que emiten en el aire, lo que usualmente pasa es que en la letra pequeña de las especificaciones se pone que se va a plantar un número de árboles que van a contrarrestar el efecto de estas.

No es físicamente posible fabricar un producto que no contamine en lo absoluto. Por lo que es muy común que los materiales que así se anuncian más bien lleven a cabo medidas de restauración de daños, aunque pocas veces se llevan a cabo de forma correcta. Siguiendo el ejemplo antes mencionado, si bien sí se plantan los “árboles” (que en realidad muchas veces son brotes jóvenes), muchas veces ya no se les da un seguimiento ni cuidados posteriores, provocando así que varios de ellos se sequen y finalmente no se logra la restauración planeada en un inicio.

3.2.2 Planificación y diseño

El consumidor (en este caso la constructora a cargo de la obra) decide qué producto adquirir, qué le conviene más según las necesidades y las opciones que tiene a su alcance para cubrirlos. Claro está que aunque exista un producto sostenible a lado de otro tradicional que igualan costos, el consumidor es el que optará por decidir cuál comprar sin importar el proceso de fabricación por el que pasaron los productos, ya que no hay forma en que el consumidor pueda incidir en la etapa de fabricación del producto cuando este se comercializa y está a punto de entrar a la etapa de uso, él sólo paga por lo que compra.

Idealmente, cada fabricante realizó el ACV de su producto antes de sacarlo al mercado y optimizó su proceso de fabricación en términos materiales, económicos y ambientales; por lo que este debe buscar transmitir adecuadamente estos esfuerzos de forma que el

consumidor se interese por comprarlo ya que aporta a la preservación del medio ambiente mientras se construye, así como hacerlo consciente de los problemas que su uso inadecuado pueden ocasionar. Por ejemplo, si un fabricante se esmera por producir un cemento con bajo contenido de carbono, pero las malas prácticas de un constructor hacen que parte del material acabe en el sistema de alcantarillado ya que dispusieron incorrectamente de los sobrantes de obra, ocasionará una indiscutible obstrucción, generando daño social y ambiental.

Es por esto que, cuando se está diseñando una edificación, la responsabilidad de la constructora a cargo es asegurarse que está eligiendo los materiales que mejor se adapten a las necesidades del cliente, así como de la zona en la que se encuentra elaborando el proyecto. Con una gran variedad de opciones en el mercado, el estudiar el ACV de los productores de materiales es una estrategia muy útil para lograr el objetivo, pero no es suficiente, en su lugar, es necesario elaborar otro análisis con otras consideraciones muy diferentes a las utilizadas en la etapa de fabricación. En estas se deben incluir el comportamiento que queremos que tenga a lo largo de su vida útil, los factores que intervienen en su instalación, uso, requerimientos de mantenimiento, rehabilitación, entre otros.

Muchas veces se buscan materiales que parecieran ser los más económicos, pero es muy importante que se considere cómo va a afectar al rendimiento energético del edificio. Por ejemplo, hay pinturas que logran un mejor aislamiento térmico, lo que va a generar un menor consumo de servicios como calefacción o aire acondicionado, lo que significa un menor consumo de energía, siendo especialmente importante en sitios con temperaturas extremas. Este razonamiento aplica también a los servicios o aparatos que requieren de agua, y aún más considerando la creciente escasez de agua en todo los estados del país. Teniendo esto en cuenta, las consideraciones para realizar un ACV en esta etapa son:

- Operativos: la maquinaria, insumos y desperdicios correspondientes para realizar la instalación en obra, la vida útil que pretendemos tenga el material, afectaciones en la eficiencia energética del edificio.
- Alargamiento de la vida útil: a través de acciones de mantenimiento y rehabilitación, con todas las implicaciones que conllevan, con qué frecuencia se deben hacer.
- Económicos: el costo del transporte de tienda o fábrica al sitio, costo de maquinaria, equipo e insumos para instalación, salarios del personal en obra, costos de mantenimiento, sobre costo o ahorro según la afectación a la eficiencia energética de la obra.
- Ambientales: efluente de aguas de limpieza por instalación y posteriormente por mantenimiento, emisiones por uso de maquinaria y transporte, disposición de RCD generados durante la instalación, así como los residuos de los trabajos posteriores de mantenimiento.
- Sociales: seguridad de los trabajos de instalación y mantenimiento, contaminación lumínica y auditiva por instalación, cómo se van a ver beneficiados o perjudicados los usuarios del edificio por la utilización del material, impactos en la salud de los usuarios durante la ocupación.

- Siguiendo el plan de disposición de residuos propuesto por el fabricante, las constructoras deben crear un directorio de los lugares donde el agente final (el usuario) podrá disponer de los materiales al final de su vida útil, según si se revalorizan o se llevan a disposición final.

3.2.3 Uso

Ya que el material de construcción pasa a ser propiedad del cliente que le dará el uso final (para el caso de la edificación se refiere al dueño de esta), deberá considerar hacer su propio análisis para utilizarlo de la forma más conveniente, donde existe un traspaso de responsabilidad entre el constructor y el consumidor, ya que el primero difícilmente tendrá los recursos para vigilar que el producto entregado sea utilizado correctamente; y no sólo desde el punto de vista en que no sea funcional, sino que puede perjudicar a un tercero al utilizarlo.

Este es sólo un ejemplo del traspaso de responsabilidad entre agentes de las diferentes fases del ciclo de vida de un material, todos deben procurar generar un beneficio (o al menos no un maleficio) al momento de que los recursos pasen por sus manos.

Para realizar un ACV en la fase de uso, existen varias consideraciones a tomar en cuenta, donde lo más importante es incluir los costos en nuestro análisis, ya que esto motivará al constructor a invertir en soluciones que beneficien al ambiente. Podemos incluir estos casos de análisis (gracias en información disponible en el documento “Towards a Life Cycle Sustainability Assessment” de la UNEP y el SETAC):

- **Análisis privado de costos y beneficios:** Este es un análisis que de forma convencional la mayoría de los ingenieros llevan a cabo, donde existe un proyecto en puerta y deben de elegir entre los productos más baratos y que cumplan la función para la que fueron hechos. No considera impactos ambientales, ni daños a terceros.
- **Análisis de costos del ciclo de vida ambiental:** La manera correcta de combinar el análisis común de costos y el ACV tradicional sería con base en la unidad funcional en la que se basa el alcance del estudio, y a partir de ahí hacer comparaciones económicas. Por ejemplo, si quisiéramos conocer el impacto ambiental de 5000 horas de uso continuo de aire acondicionado generado a base de energía solar en comparación con el mismo servicio generado con electricidad o gas natural (Figura 3.2), es necesario considerar los costos para producir estas mismas horas de luz por cada alternativa. Estos costos son:
 - De adquisición: inversión inicial por adquirir producto innovador
 - De operación: donde se considera el combustible y el mantenimiento necesario para asegurar la correcta funcionalidad del producto (donde es posible que utilicemos algún material o personal auxiliares para realizar esta tarea).
 - De disposición final: Un valor de rescate que tiene el producto ya que llegue al final de su vida útil

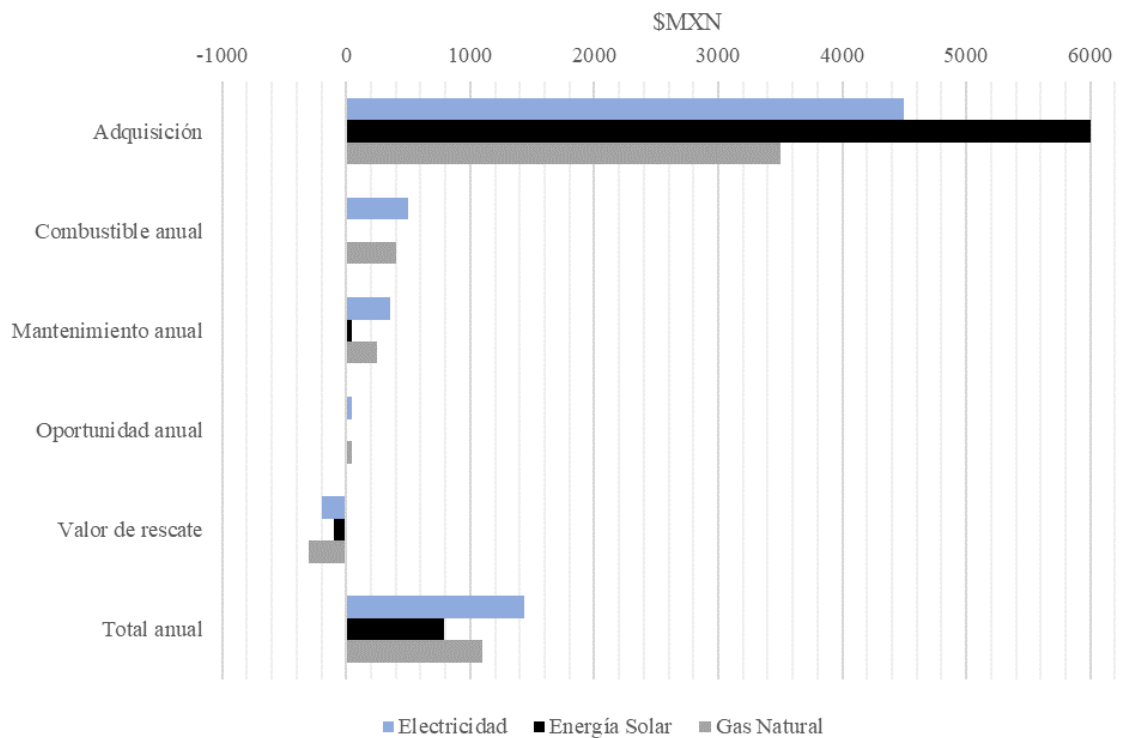


Figura 3.2: Comparativa de 5000 horas de uso continuo de aire acondicionado alimentado con energía solar contra medio tradicional
Fuente: Elaboración propia

Incluso hay un cuarto costo que podría considerarse, el de oportunidad, ya que es una alternativa de mayor valor a la que se renuncia, donde incluso se monetiza el tiempo que dedica el dueño o encargado de una empresa a un proyecto que no tuvo el beneficio esperado. La suma de todos estos costos para 2 ó más alternativas refleja finalmente cuál es más conveniente, en términos económicos y ambientales.

- **Análisis de costos del ciclo de vida social:** Este es un tipo de análisis se caracteriza por considerar las externalidades que implica un proyecto para las personas ajenas a este, siendo costos y beneficios no incorporados en los precios de un bien en el mercado. Es importante destacar que las empresas privadas rara vez se toman la molestia de realizarlo, ya que normalmente está asociado a obras públicas proyectadas y ejecutadas por el gobierno a través de inversión pública, por lo cual deben generar reportes de dominio público que contabilicen los beneficios y posibles daños generados a terceros, ya que está financiado por las contribuciones fiscales de la población misma. Estos “daños” no deben ser solo mencionados, sino que debe añadirse el manejo que tendrán, donde en el mejor de los casos, existirá una compensación económica a los afectados (aquí es donde nos preguntamos: ¿es posible ponerle un precio a nuestra salud y/o integridad?), pero la mayoría de las veces terminan pasando por alto y se beneficia exclusivamente a la población de interés mediante el proyecto, sin considerar llegar al beneficio colectivo por todo lo que implica su realización.

Lo mejor siempre será buscar eliminar las externalidades, al final son costos que el constructor se ahorra pero alguien más los paga comprometiendo su bienestar en uno o más aspectos, la compensación económica no es una forma de resarcir un daño, casi siempre es aprovecharse de las necesidades de personas vulnerables que tienen escasas opciones, incentivando la corrupción. Cabe mencionar que una estimación realizada por la SEMARNAT y la CEPAL en 2010, arrojó que el costo de externalidades de 13 plantas termoeléctricas en México equivalen a 0.1% de su PIB (donde sólo se consideraron externalidades en materia de salud y no sobre efectos en el cambio climático al utilizar combustóleo), equivalentes a 3.54 ¢USD/kWh, a diferencia de la externalidad que implican fuentes de energía renovable como la nuclear: 0.21 ¢USD/kWh, casi 17 veces menor.⁴⁰

Estos análisis se pueden llevar a cabo cuando tenemos un proyecto nuevo o cuando queremos aplicar cambios de mejora y eficiencia en nuestros procesos, dentro de la fase de uso de los materiales. A su vez, puede ser aplicada cuando: identificamos nuevos riesgos; buscamos una certificación que avale responsabilidad social y/o ambiental; la entrada imprescindible de una nueva ley o normalización que concierne a todos los involucrados en los procesos productivos; o simplemente en análisis rutinario en busca de fallas, pero con un objetivo claro respecto a qué medidas tomar con los datos obtenidos.

3.2.4 Disposición final

Una vez finalizada la vida útil de los materiales que componen una edificación, existen múltiples escenarios posibles a considerar, dependiendo en primera instancia del material que se trate. Por ejemplo, para ventanas y materiales que pertenezcan a algún sistema de generación energética (tal como la iluminación, calefacción, ventilación, etc.) existe la opción del reemplazamiento simple, considerado normalmente como parte del mantenimiento. Otro caso puede ser el de materiales que formen parte de la estructura del edificio, aunque esto ya es considerado una demolición parcial que puede escalar a total.

Sin embargo, el punto central de este apartado radica en decidir qué hacer con los residuos de materiales, una vez llevadas a cabo estas actividades. Partiendo de esta idea, es necesario resaltar la importancia de la demolición selectiva, que consiste en desmontar cuidadosamente los materiales para utilizar la mayor parte de lo rescatado en algún proceso productivo, ya sea reintegrándolos directamente a otro proceso constructivo o como materias primas secundarias para aprovecharse en procesos incluso ajenos al de la edificación. Esta demolición puede evolucionar a una desmantelación, debido a que esta acción se tenía concebida desde la etapa de planificación del proyecto, pensado para que se revalore la mayor cantidad de recursos aún aprovechables, y no terminen en vertederos no controlados, perdiendo su valor y degradando al ambiente en el proceso. La reintegración de materiales a las fases del ciclo de vida abarca:

⁴⁰ Dato obtenido de *METODOLOGÍA PARA EVALUAR EXTERNALIDADES EN LA GENERACIÓN ELÉCTRICA*. (2010). Elaborado por el Instituto de Investigaciones Eléctricas.

- *Reutilización*: Donde se aprovecha un producto para utilizarlo como en su primer ciclo de vida, sin pérdida de funcionalidad.
- *Reciclaje*: Para ello se considera la remanufacturación, que, a diferencia del mantenimiento, consiste en reacondicionar el producto, reparándolo para reutilizarse o que otra industria lo aproveche con un uso diferente. De esta manera nace el concepto de materias primas secundarias, donde ya no es necesario extraer materia prima virgen, sino que se aprovechan materiales que ya cumplieron al menos un ciclo de vida.
- *Disposición final*: Sitios especializados para minimizar los impactos ambientales de los residuos generados, conocidos como rellenos sanitarios, los cuales cuentan con sistemas de impermeabilización, de recolección y tratamiento de lixiviados, así como de los gases despedidos.
- *Incineración*: Para recuperar el contenido energético de un compuesto, aprovechando su poder calorífico y transformándolo en fuente de energía alternativa a diferencia de retener los residuos.
- *Vertedero*: Sitios no controlados donde se depositan residuos, tales como barrancas, predios abandonados, la vía pública, etc. Implican un riesgo sanitario para el ecosistema.

Cuando un material pasa a tener un segundo ciclo de vida por alguna de estas actividades, el efecto positivo de esa actividad se considera hasta el producto creado a partir del material reciclado, formando parte del próximo ACV. Mientras que el transporte para enviar los residuos al sitio de reciclaje, disposición o tratamiento sí se considera como parte del primer ciclo de vida del producto.

Hay que resaltar que, así como todos estos materiales no son aprovechables de la misma manera, no todos los residuos generados en obra o demolición son en sí recuperables para su aprovechamiento, por lo que muchas veces es inevitable un rezago. Usualmente estas son sustancias peligrosas o tóxicas que únicamente se almacenan en sitios controlados.

Es así como existen muchas alternativas para tratar adecuadamente los RCD, sin embargo, prever la disminución de residuos tendrá siempre la preferencia y las estrategias en materia de EC persiguen principalmente este objetivo. Aun así, si se llegan a generar residuos debe existir un plan de manejo para afrontarlos.

3.3. ACV de la edificación

El ACV es una metodología que fue pensada para aplicarse a productos, no a procesos, como es el caso de la construcción de un edificio. Esto debido a que se basa en la vida útil y las materias primas consumidas para la fabricación de un objeto. De ahí que este trabajo propone percibir al edificio completo como el producto a elaborar, separando su proceso en etapas para poder identificar y clasificar a los insumos y los impactos que intervienen en cada una de ellas.

Tomando en cuenta la propuesta anterior y como todo producto, es necesario que el edificio cuente con una Declaración Ambiental de Producto (EPD por sus siglas en inglés), ya que

este es el que comunica su desempeño ambiental a los clientes a lo largo del ciclo de vida. Para el caso de una edificación, una EPD es una herramienta esencial para proyectos que buscan una certificación en construcción sustentable (tales como LEED, BREEAM, LEVEL(s), DGNB, WELL, etc.), identificando procesos de impacto que abarquen más allá de la etapa de fabricación de los materiales con los que se construye y sus posibles mejoras.

Ya existen estudios que han demostrado que aplicar métodos de eficiencia en la edificación ayuda a reducir sus impactos ambientales, como el llevado a cabo por el Centro Mario Molina, que utilizó el ACV como herramienta de medición cuantitativa en dos escenarios, uno que consiste en la construcción y operación de una edificación bajo un estándar común y uno eficiente (adecuación de edificios existentes y uso con tecnologías optimizadas desde la extracción de materiales hasta el fin de su vida útil, la cual se proyectó de 50 años). Este estudio asegura que fue posible disminuir el impacto ambiental en 13% en edificios habitacionales, 11% en edificios de oficinas, y de 16% en edificios de ocupación discontinua como es el caso de un auditorio.

Además, la aplicación del ACV en la edificación ofrece la posibilidad de “etiquetar” medioambientalmente a los edificios con base en políticas ya sea nacionales o continentales, ya que el ACV puede evaluar la influencia que las decisiones en la etapa de planificación tienen en etapas posteriores como el mantenimiento y la operación del mismo. Al tener una previsión de este impacto se pueden tomar decisiones más acertadas respecto a los sistemas energéticos que se van a utilizar, los métodos constructivos (lo que incluye qué materiales se van a utilizar), entre otros. Gracias a esto, también se obtiene una mayor rentabilidad económica.

La idea es que este análisis ayude a promover la creación de Edificios de Cero Emisiones de Ciclo de Vida, que pretenden tener un impacto ambiental prácticamente nulo, al aplicar el ecodiseño arquitectónico y la bioconstrucción.

Así pues, los ingenieros y arquitectos constructores no son los únicos agentes que deben cargar con el peso de crear una edificación sostenible, sino que debiera existir una responsabilidad compartida entre fabricantes, proveedores, promotores, usuarios, etc. durante cada etapa del ciclo de vida de un producto clave para abrir camino hacia una Economía Circular.

Considerando esto, a continuación presentamos las etapas en las que se va a dividir el proceso de edificar, junto con las consideraciones que creemos son importantes para complementar al ACV tradicional y transformarlo en la herramienta de impulso para la transición hacia la EC que la construcción necesita.

3.3.1 Diseño del proyecto y obtención de materiales

Esta es la etapa más importante, puesto que es aquí donde se van a definir los aspectos más relevantes en cuanto a qué insumos se van a utilizar, los procesos, maquinaria, etc. Todo esto se debe hacer en base al uso que se quiere que tenga (residencial, oficinas,

servicios, industrial), los años que se pretende se mantenga con ese mismo uso, y en consecuencia los mantenimientos y la recurrencia con la que se deben realizar.

Si bien es cierto que la fabricación de materiales de construcción genera impactos, el responsable de analizarlos y generar estrategias para mitigarlos es el fabricante. El compromiso del consumidor entonces es informarse sobre las distintas alternativas disponibles en el mercado y elegir la que mejor se adapte a sus necesidades, preservando el entorno en donde va a ser utilizado, y siempre dando la preferencia a los productos de aquellas empresas responsables en su proceso de fabricación.

Para poder hacer esta elección es importante primero que nada establecer qué tipo de usuarios van a ocupar las instalaciones, para saber las amenidades y necesidades que deben contemplarse, tomando en cuenta cómo se va a afectar el rendimiento energético del edificio. Algunas consideraciones pueden ser la implementación de luces automáticas en el estacionamiento, captación de agua de lluvia para uso en WC, etc.

Otras recomendaciones para la elaboración del ACV en esta fase provienen de especificaciones contenidas en las Manifestaciones de Impacto Ambiental (MIA), cuya finalidad es identificar, predecir, evaluar, mitigar e interpretar los impactos en la naturaleza, así como presentar alternativas y/o medidas de mitigación en caso de que las consecuencias sean consideradas negativas con intensidad alta. Actualmente, la MIA es la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) más importante para el sector de la construcción. Esta se tiene que entregar al Instituto Nacional de Ecología de la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca; y es obligatorio para cualquier proyecto grande.

Esta EIA exige que se haga un estudio exhaustivo de los componentes bióticos, el clima y los fenómenos naturales de la zona, así como otros aspectos como la geomorfología, la calidad del agua y el suelo, identificando de qué forma se va a afectar a cada uno de ellos para posteriormente proponer medidas de mitigación cuando no sea posible evitar alterarlos.

Lo interesante es que la EIA también considera importante hacer un análisis del medio económico, donde se deben identificar las principales actividades que se desarrollan en el área, así como los indicadores socioeconómicos que reflejen la calidad de la vida de la población en los alrededores del sitio, y reconocer a los efectos directos, indirectos, acumulativos y residuales de la construcción que se quiere realizar. A estos efectos que sufren las personas ajenas al proyecto de construcción se les conoce como externalidades, donde estas pagan costos que los constructores de alguna forma se ahorran, con su salud e integridad. En el mejor de los casos, estas afectaciones sociales se buscan resarcir por medio de una compensación económica, pero la respuesta radica en la previsión.

Dentro de estas afectaciones debe considerarse la forma de transporte que asegure que los ocupantes del edificio puedan acceder a él, según la ubicación de este y las disponibilidades de ellos, el cual tiene múltiples impactos a valorar para la región donde se sitúa la construcción.

Tampoco se deben dejar de lado las consideraciones económicas, ya que sabemos que todos los proyectos buscan ser rentables. En esta fase se realizan las cotizaciones y presupuestos de los costos directos e indirectos de la obra, pero como tal los únicos costos en esta etapa son los relacionados con los arquitectos, ingenieros y demás profesionales a cargo de la planeación, que proveen del trabajo intelectual necesario para poder tomar todas estas consideraciones antes mencionadas y entregar un proyecto sustentable, rentable, y de calidad, que beneficie a la sociedad y a la reputación de la empresa dueña del inmueble.

Como ya se mencionó, esta etapa sirve para definir el rumbo que queremos que el proyecto siga, por lo que también hay que contemplar qué va a suceder una vez el edificio llegue al final de su vida útil. Si bien es imposible prever con total exactitud en qué condiciones estará en ese momento, sí es posible hacer simulaciones y examinar distintos escenarios.

Una buena práctica a implementar es integrar al ACV propuestas de rehabilitaciones que puede tener el edificio, estas solamente se podrán hacer cuando el edificio no atente contra la seguridad de las personas que lo utilicen, o contra edificios aledaños. En el caso de México (un país de alta sismicidad en general) deben hacerse las exámenes pertinentes para garantizar esto.

En caso de resultar inseguro, se deberá proceder a demoler parcial o totalmente el edificio. Este escenario también debe ser considerado en el análisis, como un apartado de Gestión de RCD. La demolición de una edificación no sólo es tomar la decisión y llevarlo a cabo, debe existir un proceso previo de planificación si queremos implementarlo con criterios de EC, por lo que desde la adquisición de materiales ya se tiene concebida una estimación de la vida útil, para que una vez que esta sea alcanzada, se apliquen acciones relacionadas a la recolección y aprovechamiento de residuos mediante la demolición selectiva. Para realizar esta tarea es conveniente considerar que los elementos prefabricados compongan la estructura, facilitando la labor de desmantelación.

Esta evaluación de escenarios debe realizarse durante las etapas tempranas de construcción como la planificación, donde inclusive el plan de manejo de residuos emitido por la Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción (CMIC) expone la importancia de incorporar los costos de recolección y transporte de residuos al sitio de disposición final en el presupuesto, considerando por lo tanto la generación total de residuos una vez ejecutado el proyecto, la explosión de insumos correspondiente y el manejo propuesto para cada uno de ellos.

3.3.2 Ejecución del proyecto

Esta etapa es donde se van a aplicar todas las estrategias propuestas durante la planificación, por lo que para saber si se alcanzaron los objetivos propuestos o no, es necesario llevar una muy buena trazabilidad de cómo va el avance de construcción respecto al programa de obra, los gastos según el presupuesto asignado, así como los consumos de energía, agua y generación de RCD. Esto sólo será posible si se cuenta con un estricto control de gestión.

Adicionalmente proponemos que se continúen midiendo los impactos ambientales y se compare con los que se habían previsto en un inicio; de la misma forma los sociales, estudiar la reacción de la población aledaña conforme se va avanzando en el proyecto, buscando causar la menor molestia posible, trabajando en el horario óptimo para evitar ruidos molestos en horario laboral o durante las horas de sueño, evitar cerrar vialidades, garantizando la seguridad de los transeúntes, entre otros.

Es recomendable revisar estos indicadores cada dos semanas, y en caso de existir una variación demasiado grande, aplicar las medidas de corrección que se consideren necesarias.

Los costos que se tienen que cubrir durante esta fase son los salarios de los trabajadores, la renta e insumos de la maquinaria, transporte de los materiales al sitio, así como el que se utiliza para disponer de los residuos.

3.3.3 Operación y mantenimiento

Ahora la responsabilidad se traspasa del constructor al cliente, y será este quien herede el compromiso de hacer todo lo posible por seguir manteniendo los impactos ambientales, económicos y sociales al mínimo.

Para lograr esto el primer paso es estructurar un calendario de mantenimiento. Es mejor prevenir que corregir, por lo que siempre se le debe dar prioridad sobre las reparaciones. En esto se debe incluir el tener revisiones periódicas de la eficiencia energética del edificio, es decir, saber si se está utilizando el sistema o producto que más se adapta a sus necesidades a lo largo del funcionamiento de la infraestructura; siempre hay algún rubro donde se puede mejorar, ya sea cambiar la iluminación por focos ahorradores, implementar un sistema de luz automática en zonas estratégicas, etc. Esta acción promovería que se consumieran materiales que cumplan con esos requisitos y los fabricantes se adapten a estas exigencias, dando prioridad a las empresas ambiental y socialmente responsables a la hora de adquirir estos productos o servicios.

Esta etapa conlleva mayores impactos en términos de consumo energético e hídrico a lo largo del ciclo de vida de una edificación, por lo que es la fase que comúnmente se le asigna mayor atención, muestra de ello son las categorías de producto que constituyen una certificación como LEED. Adicionalmente, hay que tener en cuenta que si esta fase continua optimizándose, los impactos de las demás fases estarán destacándose por su ineficiencia en comparación. Por ello, las certificaciones deben estar preparadas para esta emergente situación y empezar a incluir dentro de sus criterios sustentables más allá de las emisiones y consumos asociados a la fase de ocupación.

En esta etapa también es cuando se comenzará a notar si las medidas de mitigación que se establecieron durante la planificación y llevadas a cabo durante la construcción de la obra están dando los resultados esperados, es muy importante que se monitoreen y se tenga ya una forma de medir la corrección alcanzada.

Es necesario reiterar el punto de que no podemos dejar de medir los impactos ocasionados en esta fase, teniendo siempre un parámetro contra el cual podamos comparar los valores obtenidos y con personas que se dediquen a analizar qué medidas se pueden aplicar para alcanzar el objetivo en caso de que éstas resulten insuficientes.

3.3.4 Fin de Vida Útil

Una vez que ha transcurrido el tiempo de vida que se había estimado para el edificio desde su diseño, es momento de evaluar qué va a pasar con él a continuación. Esta vida útil generalmente se calcula tomando en cuenta el mantenimiento que va a tener a lo largo de esos años, pero sí se puede modificar según si estos tratamientos se están haciendo conforme lo planeado o no.

Hay varios factores que deben ser tomados en cuenta en esta decisión, pero el más importante sin duda es si este edificio representa algún tipo de peligro para los usuarios que lo habitan, las estructuras que lo rodean, o cualquier persona que se pueda encontrar cerca de este.

Existen varios caminos a seguir según las condiciones en las que se encuentra el inmueble. La remodelación es la mejor alternativa si la estructura aún se encuentra en buen estado y se quiere mantener el mismo uso, ya que permite que solamente se cambien los acabados o algún otro aspecto relativo al diseño, pero lo demás se puede mantener igual. El ejemplo perfecto de esto sucede cuando una casa pasa de un propietario a otro, que desea adecuarla a su propio estilo y por eso mismo necesita modificar la pintura, acabados, etc.

En cambio, si la estructura está en buenas condiciones pero ya no se desea utilizar de la misma manera, se puede optar por la rehabilitación. Esto significa conservar la parte estructural pero modificando el diseño para que pueda servir para otro propósito. Fue el caso de muchas haciendas a lo largo de los años, ya que debido a los costos cada vez mayores de mantener una vivienda, especialmente considerando el tamaño de algunas de estas, muchas personas optaron por venderlas a empresas privadas o al mismo gobierno y fueron convertidas en hoteles, restaurantes o museos, lo cual implicó hacer modificaciones a la distribución y diseño interior de estas.

En el caso de que el edificio presente daños estructurales se puede elegir hacer una demolición parcial o selectiva, solamente de la parte afectada. Además de que esta opción es mucho menos costosa que decidir tirar abajo todo el edificio, también tiene impactos ambientales mucho menores y no genera tantos RCD. De hecho esta es una de las estrategias que propone el modelo de EC para el futuro de la construcción, buscando que en algunos años las estructuras puedan ser fácilmente desmontables para reducir inversiones de tiempo y dinero.

Un ejemplo muy sonado que nos hace creer que esta puede ser una realidad no tan lejana es que en el Mundial de fútbol en Qatar 2022 se construyó el estadio “974” con capacidad para 40,000 personas que era completamente desmontable, hecho a partir de contenedores de barco; una vez que finalizó la competición se reutilizaron los contenedores. Gracias a

esto, la infraestructura recibió la certificación de cuatro estrellas del Sistema de Evaluación de la Sostenibilidad Global (GSAS). “A todo ello hay que sumar que se trata de un estadio que se puede desmontar en unos 8 meses para volver a montar de la misma manera en otra ubicación, siguiendo las instrucciones de los arquitectos. No necesariamente tiene que tener la misma forma ni el mismo tamaño, sino que existe la posibilidad de combinar los elementos de una manera diferente para obtener instalaciones deportivas diversas, que no tienen porqué estar relacionadas con el fútbol” (Canibe, 2022)

Finalmente, está la demolición total. Esta es la opción menos deseable y hay artículos que dicen que para que un edificio alcance el grado máximo de sostenibilidad será necesario eliminar esta posibilidad por completo. Como ya se mencionó, lo más importante a la hora de tomar esta decisión es la seguridad de las personas. En este sentido, una edificación puede ser peligrosa si por ejemplo tiene algún problema que pueda hacer su estructura inestable (como las termitas y la humedad) o que pueda causarle enfermedades a las personas que viven dentro de él (por ejemplo, el moho). En países con alta sismicidad como México también es necesario considerar que después de uno de estos eventos los edificios deben ser revisados por ingenieros experimentados, en caso de demostrar potencial para ser un peligro de igual forma se deberá tomar la decisión de demolerlo por completo.

3.4. Herramientas de software ACV

Como en toda metodología, hay una curva de aprendizaje para lograr aplicar exitosamente el ACV, y desafortunadamente existen muchos prejuicios sobre la complejidad de este estudio así como de la exactitud de los resultados que se obtienen, ya que en gran medida dependen de las bases de datos o las aplicaciones que se utilizan, de donde hay una gran variedad de dónde elegir.

Hay otras barreras que dificultan la aplicación del ACV, como lo son la falta de exigencias legislativas y la falta de incentivos, que hacen que no haya demanda de estudios de ACV para los edificios. Hablando específicamente de México, esta limitante se ve incrementada por el hecho de que hasta la fecha no existe ningún programa que se pueda aplicar a las condiciones específicas del país (especialmente hablando del factor sismicidad), y por lo mismo es una exigencia que no se puede demandar.

Aún con estas limitaciones, creemos importante recalcar que el ACV es una herramienta demasiado valiosa como para dejarla en el olvido, y esperamos que se le vaya dando mayor importancia conforme la conciencia ambiental vaya tomando cada vez una mayor relevancia en el país.

No solamente los ingenieros civiles y arquitectos se pueden ver beneficiados con estas herramientas, sino también consultores, gestores energéticos, planificadores urbanísticos y hasta agentes inmobiliarios, y por supuesto, el cliente. Los enfoques desde los que serán abordados sus análisis serán diferentes, pero se complementan para lograr establecer los objetivos medioambientales para el edificio, el diseño, e inclusive zonas donde mejor convenga permitir o prohibir cierto tipo de edificaciones, por ejemplo, no sería nada conveniente poner una fábrica en una zona completamente residencial, o un estadio

deportivo en el centro histórico, o un aeropuerto que no tenga la infraestructura que permita que medios de transporte públicos vayan y vengan a la ciudad.

El ACV tiene innumerables aplicaciones dentro del sector de la construcción, ya que sirve para identificar las áreas de oportunidad en los impactos ambientales, no sólo en la etapa de planificación, sino en toda a lo largo de toda la vida útil del edificio. También facilita las decisiones que deba tomar la empresa constructora a cargo, al mostrar los resultados (expresados en la unidad funcional o indicador que queremos conocer) de las diferentes alternativas que existen en el mercado en cuanto a materiales y equipos, con base a las prioridades y estrategias de de ecoeficiencia en esa edificación.

3.4.1. De uso general

Múltiples sectores pueden hacer uso de la metodología ACV, por lo que varios programas han buscado homologar los criterios que cada industria utiliza, buscando mejorar sus procesos, poniendo a su disposición bases de datos especializadas para un estudio más completo cuando se requiera.

Esta estrategia también permite una estandarización de los datos recabados por el estudio, al controlar el tipo de entradas de información que el programa admite, logrando una sencilla clasificación y comparación de datos ambientales asociados a un producto o proceso particular. Sin mencionar que este es un requisito vital cuando se busca obtener ecoetiquetados de productos (EPD), destacando el perfil sostenible ante los consumidores.

El uso de este tipo de herramientas es mucho más amplio y dispone de bastantes datos para admitir diversas hipótesis de partida, mismas que no siempre estarán ligadas al campo de interés de la ingeniería civil. Sin embargo, no debe subestimarse su alcance y aplicación, estas dependerán del seguimiento que les brinde el usuario, desmenuzando los procesos y conociendo áreas de oportunidad desconocidas hasta ese momento.

A continuación, se explicarán y compararán las dos herramientas más utilizadas y valoradas para realizar estudios ACV por los diferentes sectores e industrias de hoy en día:

1. SimaPro

Esta herramienta es de las más utilizadas en general. Permite realizar ACV's completos con múltiples métodos de evaluación de impactos por cada etapa del sistema estudiado, redactando informes según la normativa ISO 14044 e ISO 14044 para ACV. Útil para visualizar diversas bases de datos y procesos unitarios, identificando y modificando las posibles mejoras del desempeño ambiental de productos, actividades y servicios.

El desarrollo del programa inició en 1990, con el surgimiento de la empresa PRé Consultants en Países Bajos. Actualmente la versión más nueva del programa es SimaPro 9.3, el cual brinda múltiples herramientas para EIM e ICV.

SimaPro tiene una amplia gama de socios mundiales en 25 países, donde CADIS es el socio corresponsal para México, y es el encargado de ofrecer el software, así como diversas

herramientas para la Gestión del Ciclo de Vida, todo con el objetivo de fortalecer el consumo y la producción sustentable.

No está diseñado para llevar a cabo un ACV a nivel edificio, sin embargo es posible complementarlo con herramientas de simulación energética de edificios y definir diversos valores por defecto para escenarios varios, ya que maneja: análisis de sensibilidad, escenarios de fin de vida, análisis de incertidumbre y Monte Carlo.

Además de las posibilidades convencionales de ACV (LCA por sus siglas en inglés), también permite asociar costes a los flujos y realizar análisis económicos a través del Life Cycle Costing (LCC).

Básicamente es un análisis interactivo de los resultados con una buena trazabilidad, posibilitando efectuar análisis de puntos débiles en el árbol de procesos (recolección de materiales, uso y operación, tratamiento de residuos y reciclaje).

Su uso es ampliamente recomendado para departamentos de diseño o I+D ya que compara y analiza complejos productos descomponiéndolos en todos sus materiales y procesos, aunado a que abarca varios sectores.

En SimaPro se trabaja a base de formularios que recogen detallada y ordenadamente la información, utilizando los métodos de evaluación de impactos para obtener la huella ambiental, permitiendo realizar estudios de ecodiseño y preparar Declaraciones Ambientales de Producto (ecoetiqueta tipo III).

2. GaBi

Esta igualmente es una de las herramientas más completas y utilizadas como apoyo al análisis y seguimiento del perfil ambiental de productos, procesos, servicios y sistemas, bajo el estudio ACV, facilitando el análisis y la representación gráfica de ciclos de vida complejos, de un modo sistemático y transparente. Se pueden construir modelos para cualquier producto, balances de entrada y salida de emisiones, materiales y energía y modificar los parámetros cuando se desee.

Este programa fue desarrollado conjuntamente por la universidad Stuttgart (Departamento de Ing. De Ciclo de Vida), la Consultora PE International GmbH y el Instituto de ciencia y ensayos de polímeros (IKP).

Además de las posibilidades convencionales de ACV, también permite asociar costes a los flujos y realizar análisis económicos a través del Life Cycle Costing (LCC), incluyendo criterios adicionales relacionados con la sostenibilidad, pudiendo asociar inclusive impactos sociales a los flujos, esto se conoce como Life Cycle Working Environment (LCWE).

Junto con estos estudios de ACV, el programa permite realizar estudios de ingeniería de ciclo de vida, diseño para el medioambiente (DfE por sus siglas en inglés), estudios de eficiencia energética, benchmarking, declaraciones ambientales de productos (EPD por sus siglas en inglés), etc.

Su uso no es específico para la edificación, pero puede utilizarse para evaluar principalmente el comportamiento medioambiental de materiales de construcción. Permite realizar análisis de escenarios parametrizados de fin de vida, análisis de sensibilidad y Monte Carlo, así como estudios de: huella de carbono, huella ambiental, huella hídrica, ecodiseño, etc.

Gabi i-Report está diseñado para usuarios no expertos en ACV, introduciendo parámetros relativos a materiales y edificios, obteniendo de forma inmediata los resultados de la evaluación del impacto medioambiental (documento base para EPD).

Cuenta con una reducida gama de bases de datos de inventario de ciclo de vida (LCI por sus siglas en inglés), aproximadamente 20, sin embargo cuenta una base propia con 7,000 perfiles de inventario listos para el uso de ciclo de vida, donde se destaca Ecoinvent, por proveer más del 50% de los datos.

La diferencia con SimaPro es que GaBi tiene una visión de los procesos y sus interrelaciones en una pizarra jerárquica donde se incorporan gráficamente los procesos, convirtiéndola en una herramienta mucho más visual, con posibilidad de tener una gran variedad de representación de los datos, tanto en lo referente al balance del sistema como del EICV.

De igual forma permite la agrupación de procesos (según tipo, nación, empresa y usuario definido), así como una asignación de cargas a cada uno, con posibilidad de reutilización de procesos y planes creados en otros proyectos.

3.4.2. Específicas para el sector de la construcción

Una vez descritos los softwares generales para el ACV, vamos a detallar algunos más que son especializados para poder hacer el análisis de un edificio. Para esto cuentan con algunas simplificaciones, como que las hipótesis y datos (entradas) son más cerrados y difíciles de modificar en comparación con los programas que son de ACV general. Otra característica es que todos tienen incluido un Inventario de Ciclo de Vida, es decir una base de datos de materiales y maquinaria (en algunos casos) donde ya se tienen definidos algunas de sus propiedades, aunque también se pueden añadir de forma manual.

En México es muy común encontrar que incluso las consultorías utilizan las hojas de cálculo para muchos de sus proyectos. Si bien esto es funcional, el utilizar un tipo de programas que son especializados para el sector no sólo hace que la empresa se vea mucho más profesional sino que facilita mucho el proceso al tener las fórmulas ya establecidas.

Creemos que para incentivar el uso de estos softwares será necesario que las licencias no sean exorbitantemente costosas, y que tengan una interfaz sencilla, que sea intuitiva para que el aprender a utilizarlos no represente una cantidad demasiado grande de tiempo.

Este apartado no pretende decir que una es mejor que otra, sino que cada una tiene características distintas y como usuarios debemos escoger la que más convenga al proyecto.

1. Ecoeffect

Diseñado por una compañía privada en Suiza, este programa puede ser aplicable para viviendas multifamiliares residenciales, oficinas y escuelas. Ofrece la opción de comparar el impacto ambiental y social dependiendo de las decisiones tomadas en las fases de planificación, diseño y gestión de los edificios. Puede ser aplicado tanto a edificios nuevos como existentes (aunque claro en estos últimos no se tendría en cuenta la fase de planificación).

La información de los materiales se encuentra disponible como una base de datos y varios proveedores y fabricantes ya se encuentran en la lista de espera para poder ofrecer sus productos a través de que el programa demuestre que son la mejor opción para la infraestructura que se está analizando. Esto demuestra que el alcance de este tipo de herramientas es mucho más amplio de lo que podemos pensar en primera instancia, ya que no sólo beneficia a los constructores sino a todos los agentes involucrados en la industria.

Sus datos de entrada cubren las áreas de: energía, materiales, ambiente interior y exterior de los edificios, así como los costos relacionados a lo largo de toda su vida útil. La unidad funcional en este programa se define según el tipo de edificio (escuela, oficinas o residencial). Se le vincula a la metodología de ACV debido a que si bien sus métodos de cálculo son cuantitativos, el programa elabora sus propias tablas de impactos, donde a través de una ponderación de los efectos ahí descritos se puede asignar un valor numérico al impacto total del edificio.

Una de sus principales características que lo diferencian de otros softwares es que permite al usuario definir un objetivo ambiental cuantitativo en cada una de estas categorías, por ejemplo se puede programar para que encuentre los materiales que le van a permitir no contribuir con más de un porcentaje determinado a las emisiones de gases.

La manera en la que calcula el impacto medioambiental relacionado con el consumo energético y el uso de materiales es separándolos en tres grupos: emisiones (calentamiento global, acidificación, agotamiento de la capa de ozono), residuos (RCD, radioactivos, peligrosos) y agotamiento de los recursos naturales. En cambio, para medir el ambiente interior del edificio se calcula el efecto sobre la salud humana (algunos rubros son alergias, cáncer, infecciones, problemas del sueño); para el exterior es sobre la salud humana (contaminación del aire y suelo, ruido, olor), los ecosistemas y por ende, la diversidad biológica que se verá afectada por la construcción del inmueble.

La gran ventaja que ofrece esta herramienta sobre otras es que no se limita a ver los aspectos ambientales, sino que también añade los costes de inversión, operación (es decir la electricidad, agua potable y residuales, así como la calefacción), y se puede definir el periodo de tiempo que va a estar con esa ocupación, aunque el valor estándar es de 50 años.

Los resultados se muestran como perfiles medioambientales para cada área en una gráfica de barras, mostrando los potenciales impactos según las categorías. Hasta ahora esta herramienta se sigue desarrollando y no se ha puesto a prueba más que en algunos edificios en Suiza, pero se espera seguir extendiendo su alcance en los próximos años.

2. Greencalc+

Esta aplicación desarrollada en Países Bajos, por medio de la metodología ACV nos indica cuánto costaría prevenir los daños medioambientales de la construcción y uso de los edificios, así como poder comparar este grado de sostenibilidad entre diferentes edificaciones. Los costes se calculan por metro cuadrado de construcción para su ciclo de vida completo: construcción, explotación y demolición.

Para poder hacer esto utiliza dos métodos de cálculo principalmente:

- **CML 2:** Desarrollada por la Universidad de Leiden en Holanda, es una adaptación de uno de los primeros trabajos en desarrollo de la metodología ACV, propone hacer una lista de categorías de impactos según si es necesario o no incluirlas en estos: a) *categorías de impacto obligatorias* (un ejemplo es el agotamiento de los recursos abióticos); b) *de impacto adicionales* (no siempre hay indicadores cuantitativos que permitan medirlos; ejemplo: Sedimento marino); c) *otros impactos* (no disponen de indicadores y por lo tanto no se pueden incluir en los ACV; ejemplo: desecación).
- **Ecoindicador 99:** “Método ACV especialmente destinado al diseño de productos, que ha demostrado ser una poderosa herramienta para los diseñadores a la hora de interpretar los resultados de ACV mediante sencillos números o unidades” (Goedkoop et al, 1999). Toma en cuenta también la relación entre el impacto y el daño a la salud humana, la calidad del medio ambiente y a los recursos.

El programa se compone principalmente de 4 módulos:

- **Materiales:** Impacto medioambiental de estos, incluye el mantenimiento.
- **Energía:** Consumo durante su vida útil, considerando el uso del edificio, los sistemas de calefacción, refrigeración, ventilación y agua caliente. Gracias a esto se puede obtener un ratio del rendimiento energético del edificio.
- **Agua:** Consumo durante su vida útil.
- **Movilidad:** Este parámetro es muy interesante y lo que lo diferencia de otros programas, ya que busca encontrar los costos medioambientales “secretos” que se producen por los desplazamientos de los usuarios a lo largo de la vida útil del edificio, según dónde se ubica, qué tanto acceso tiene a las diferentes alternativas de transporte público, si tiene infraestructuras viarias aledañas y cuántos autos puede albergar en sus instalaciones de estacionamiento.

Una vez se analizan todas las entradas, el programa arroja un índice medioambiental global del edificio, o de igual manera se puede desglosar en las categorías antes mencionadas. Este valor es determinado según los criterios de análisis de la Agencia Inmobiliaria Gubernamental Holandesa, y puede ser aplicado para edificios comerciales, industriales o residenciales.

Entre más alto sea el valor numérico, significa un nivel más alto de sostenibilidad. Hasta ahora la mayoría de los edificios que se han analizado con este software rondan los valores de entre 100 y 200, y los más innovadores han llegado a alcanzar una cifra de hasta 250. Las hipótesis indican que para lograr alcanzar el valor más alto (2000), va a ser necesario hacer una selección de materiales respetuosos con el medio ambiente e incorporar energías renovables en el edificio, así como considerar la multifuncionalidad de los espacios del edificio, junto con una buena planeación urbanística para construir en la localización óptima, minimizando así las necesidades de movilidad. La última recomendación pero no por eso menos importante, es necesario tener prevista una vida útil prácticamente ilimitada, eliminando cualquier escenario futuro de demolición del edificio.

3. Invest II

Esta herramienta desarrollada en Reino Unido por BRE (Building Research Establishment) ayuda a simplificar los muy complejos procesos de diseñar un edificio con un bajo costo de ciclo de vida e impactos ambientales. Puede ser utilizado para todo tipo de edificios, ya sea residencial, de oficinas, plazas, etc.

Para lograr esto los diseñadores, arquitectos o ingenieros deben introducir los siguientes datos: la ubicación del edificio, el código postal (indicará si en esa parte de la ciudad es necesario tener calefacción o aire acondicionado), el número de plantas, usos del edificio, altura, superficie acristalada, los materiales seleccionados para los muros exteriores, cubiertas, forjados, etc., así como los sistemas energéticos que van a ser utilizados, especialmente de calefacción y refrigeración, aunque también es posible indicarle parámetros más específicos, como si el sistema de ventilación será natural, y en dónde se encuentran originalmente las ventanas por ejemplo, y puede que una vez hecho el análisis el mismo programa sugiera cambiarlas de lugar para lograr la máxima eficiencia. En el caso de la ventilación mecánica, se pueden especificar las medidas de los ductos y de igual forma recibir sugerencias al final.

Lo que distingue a este software sobre otros es que una vez se tienen todas estas entradas, el programa *identifica* los elementos con mayor influencia en el impacto medioambiental del edificio así como sus costos de ciclo de vida, pero no sólo eso, sino que también muestra alternativas a estos materiales y sistemas de generación de energía que tendrán un impacto menor. Finalmente también el presupuesto puede ser establecido, ya que la aplicación intentará apearse a él lo más posible al momento de sugerir alternativas.

La aplicación de este programa es mucho más apropiada para la parte de planificación cuando se está construyendo algo nuevo, aunque también es posible utilizarlo para la remodelación o reacondicionamiento de uno ya existente. Su principal atractivo es la cantidad de posibilidades de personalización que ofrece, ya que es posible modelar y especificar absolutamente todas las características del edificio que estamos diseñando, lo descrito anteriormente son sólo los parámetros básicos, pero en realidad hay muchos otros que pueden ser utilizados y que ayudarán a que la toma de decisiones por parte del programa sea mucho más acertada, como el acabado de los techos, dónde se encuentran las escaleras o elevadores, los acabados de piso, los perfiles metálicos presentes en la estructura, entre muchos otros más. Y tiene la otra gran ventaja de que su interfaz parece

ser bastante intuitiva y amigable con los usuarios nuevos que desean aprender a utilizar esta valiosa herramienta.

Si bien Envest II se puede descargar desde cualquier parte del mundo, los parámetros que ofrece la localización no están tan bien definidos fuera del Reino Unido, lo que puede que las sugerencias hechas no sean del todo correctas. Una buena estrategia que posiblemente ya estén implementando es aliarse con algún servicio de geolocalización que pueda complementar esta información de otras partes del mundo.

Entre los impactos medioambientales que considera, que en total son 16, están el cambio climático, la toxicidad humana, el agotamiento de la capa de ozono, la eutrofización, todo lo relacionado a la extracción de materias primas (especialmente minerales), etc.

Los resultados los arroja como un valor numérico llamado "Eco puntos", en el caso de los impactos, y esto realmente hace más fácil la comparación entre dos o más edificios diferentes. Para el caso de los costes medioambientales hasta ahora solamente es posible expresarlo en libras esterlinas.

Capítulo 4. Propuestas para la formulación de estrategias en materia de Economía Circular aplicadas a la edificación en México

La finalidad de este capítulo es compilar una serie de propuestas elaboradas por los autores de este trabajo tomando como base los fundamentos, ventajas y limitantes que tiene la aplicación de la EC en la construcción mexicana que fueron descritos en los capítulos anteriores, así como ejemplos de su implementación en otros países. En estas propuestas se pensó en los edificios residenciales y de oficinas pero su uso no está limitado a estos.

Para poder transformar a la industria es necesario un cambio radical en todo el proceso, desde las fases de planificación y operativas del edificio, hasta las partes administrativas, con la aplicación de los Sistemas de Gestión de Calidad, apoyándose en instrumentos como las Metodologías de Gestión, cuyo objetivo es hacer más sencilla y eficiente la administración de los proyectos en una empresa, dando además homogeneidad a los documentos generados durante este proceso, así como facilita el cumplimiento de los plazos y presupuestos establecidos en la etapa de planificación.

Otro objetivo de este capítulo es resaltar el papel que juega la ética para el buen desarrollo de una obra de construcción, no solamente de la parte que ofrece los servicios sino también de quien lo consume. Recordemos que la implementación de la EC en una industria no podrá ser exitosa a menos que todos los agentes estén involucrados y comprometidos con el objetivo, buscando no solamente la facilidad y comodidad, sino una mejora real y continua en el proceso, que beneficie a la sociedad y afecte lo menos posible al medioambiente. A fin de cuentas, la sustentabilidad es el balance entre medio ambiente, economía y ética.

4.1. Diseño y construcción de la edificación

En este primer punto se debe priorizar la conservación del terreno y proteger las tierras agrícolas y los hábitats de vida silvestre mediante la promoción del desarrollo en áreas que ya cuenten con infraestructuras. Esto también incluye priorizar el construir o renovar espacios dentro de un edificio, antes de buscar expandirse hacia otras áreas de la ciudad.

Recordemos que hay muchos impactos negativos ambientales que se pueden evitar si se prevén desde un inicio, y para esto es fundamental una planeación integral, en conjunto con todas las áreas y personas que se van a involucrar en el proyecto, desde dónde se va a construir el edificio, de qué formas pueden llegar los usuarios a él, los materiales y otros recursos que se van a utilizar a lo largo de su vida útil, los cuales van a tener un impacto directo en la eficiencia hídrica y energética, que últimamente conlleva a una constante búsqueda de innovación en las técnicas de construcción.

Estas ideas están estrechamente relacionado con la EC, ya que se debe dejar de ver estos aspectos como algo separado, y entender que la contaminación de un edificio no sólo se mide por sus materiales y su proceso constructivo, sino que como ingenieros civiles

tenemos que abrir nuestro panorama y pensar en todos los impactos ambientales que nuestro edificio está teniendo, por ejemplo los causados por el uso del automóvil (el uso de agua al lavarlo, cuántos cajones de estacionamiento se van a tener disponibles, las emisiones que genera para transportar al usuario al supermercado o la oficina, etc).

A continuación se desglosan las propuestas agrupadas en distintos grupos, analizando las limitaciones que hay que vencer para poder aplicarlas y explicando las ventajas más importantes que tendría su implementación.

4.1.1 Localización y accesibilidad

Ya se había mencionado en el capítulo anterior la importancia de elegir cuidadosamente el sitio donde se ha de construir el edificio, ya que esta decisión tendrá impactos directos sobre el medioambiente, a través de las acciones de las personas que van a vivir en él, pero también tendrá un impacto social que no podemos ignorar. Los impactos medioambientales que se pueden evitar planificando correctamente la ubicación de un edificio están relacionados mayormente con la contaminación y calidad del aire. Según la ONU, el 16.2% de emisiones de GEI en el país son causadas por los automóviles, así como generan el 60% de la contaminación por partículas suspendidas gruesas, lo que mata a alrededor de 14,700 personas cada año.⁴¹

Es por esto que casi todas estas decisiones deben girar en torno a reducir las distancias de desplazamientos, y no solamente de las zonas habitacionales a industriales, sino en general hacia cualquier tipo de servicio básico que requieran los usuarios. Esto promueve especialmente la habitabilidad y representa una mejora en la salud humana a través del fomento de la actividad diaria en lugar de utilizar vehículos con motor para desplazarse, así como a través de una mejora considerable en la calidad del aire, que se traduce en una reducción de la cifra de mortalidad antes mencionada.

Según estudios hechos por la misma organización, en promedio se utiliza un carro por cada 1.2 personas, lo que genera muchísimo tráfico vial, cosa que es posible reducir tomando algunas consideraciones en cuenta a la hora de planificar la ubicación de los edificios. En el caso de los que son residenciales, estos deben estar cerca de servicios como supermercados, centros comerciales, panaderías, estéticas, veterinarias, farmacias, entre otros servicios básicos, y con esto nos referimos a que deben estar a una distancia que se pueda recorrer a pie sin representar un esfuerzo físico exhaustivo. De los mencionados anteriormente, también es necesario resaltar que la mayoría de estos sitios no están diseñados para que sus usuarios puedan llegar caminando. Tomando como ejemplo las plazas comerciales, sus accesos siempre se encuentran rodeadas de un espacio de estacionamiento bastante grande que hay que atravesar antes de llegar a la puerta, mientras que si una persona llega en auto o en moto podría bajarse prácticamente frente a esta. Es necesario que este tipo de edificaciones tengan al menos un acceso a la calle principal, y que se incluyan o se aumenten los lugares que tienen de almacenamiento para bicicletas.

⁴¹ Dato obtenido de *Contaminación, automóviles y calidad del aire*. (2022) ONU Habitat

Las zonas que generan mayores emisiones de GEI, así como congestión vial son aquellas que van de las zonas residenciales hacia donde se conglomeran los corporativos empresariales. Esto se debe sobre todo al hecho de que la mayoría de las personas prefieren desplazarse en automóvil ya sea por las largas distancias, por la comodidad, o por el tiempo que se llevarían si tomaran otro tipo de transporte. Algunas propuestas para reducir estos problemas incluyen el asegurarse de que el edificio se encuentra a una distancia razonable para ir a pie de al menos dos paradas de diferentes transportes públicos, el fomento del concepto de auto compartido entre compañeros, y tener senderos reservados para peatones y bicicletas que garanticen su seguridad.

En este sentido, las bicicletas cada vez están tomando mayor popularidad como medio de transporte en países de primer mundo. Desafortunadamente en México parece que aún estamos lejos de esa realidad, ya que todavía no contamos con la cultura ni la infraestructura para esto. Pero el hecho de que ya se hace en otros lugares nos demuestra que esto es posible, y no nos referimos únicamente para distancias cortas, sino como un transporte en forma.

Un ejemplo de esto lo podemos encontrar en la ciudad de Londres, donde en todas las vialidades existe un carril para bicicletas, y se tiene un concepto muy diferente sobre la utilidad del automóvil. Para ejemplificar esto, pondremos como caso la Torre Mayor en México, ubicada en Paseo de la Reforma, la cual cuenta con 13 niveles de estacionamiento para vehículos motorizados. En comparación, el edificio inglés ubicado en la calle Chancery Lane, no tiene ni un sólo cajón para automóviles, pero sí 206 espacios para almacenar bicicletas (y con planes de aumentar); también se cuenta con una zona de regaderas y vestidores donde los que así lo desean puedan asearse y cambiarse de ropa antes de subir a su lugar de trabajo. Estas amenidades pueden resultar muy llamativas para los usuarios, ya que bañándose en su lugar de trabajo pueden ahorrar ese consumo de agua en su hogar

Otra idea que puede ayudar a fomentar esto es el ofrecer un programa de mantenimiento de bicicletas para empleados, ya que también a la empresa le conviene que los usuarios la utilicen, puesto que así se pueden evitar el construir espacios de estacionamientos de auto, o en su defecto se ahorran el pago de un lugar externo que les permita almacenarlos.

Como ya se ha mencionado anteriormente, no es suficiente con que un sector se cuestione y evolucione, sino que debe ser un proceso que suceda en conjunto con los demás. y justamente, las limitantes que podemos señalar son, primero la ineficiencia del transporte público, que muchas veces no tiene un horario establecido en la llegada de sus unidades (como en el caso de otros países europeos donde el transporte público inclusive tiene una aplicación donde consultar los horarios de partida y la frecuencia con la que pasan); y segundo y más importante: el problema de la inseguridad que representan estos otros medios de transporte. Cada día, ocurren un promedio de 30 asaltos solamente en la CDMX y el Estado de México, según cifras del Secretariado Ejecutivo del Sistema Nacional de Seguridad Pública (SESNSP), lo que representa el 86.7% a nivel país. Caminar o andar en bicicleta no pinta un panorama mucho mejor, ya que sólo en 2021 se registraron 28.1 millones de robos a peatones y ciclistas.

En resumen, para que todas estas ideas funcionen, es necesario que se rediseñen y se amplíen eficientemente las rutas del transporte (todas deben tener servicio en sentidos opuestos, y cubrir una mayor área de servicio), así como homogeneizar un cronograma para todas las unidades. Pero el factor más importante es idear planes para poder garantizar la seguridad de los usuarios y peatones, lo que a su vez indirectamente va a promover el uso de estas alternativas. Por ahora, se podría iniciar por fomentar el uso del programa de auto compartido, ofreciendo algún tipo de bono o ayuda para la gasolina, o un lugar preferencial en el estacionamiento.

4.1.2 Insumos de la edificación

Según un estudio hecho por el World Watch Institute, la construcción consume el 40% de piedras brutas, grava y arena, así como 25% de la madera virgen cada año. Esto demuestra que todavía queda un largo camino por recorrer para poder llamar sustentable a esta industria, en donde cada vez sean menos las materias primas extraídas, y más los “residuos” aprovechados, reintegrándolos a los procesos constructivos podemos conseguir mayores beneficios económicos, pero sobretodo saludables para la población y el planeta.

El fin de las propuestas que se van a presentar en esta sección es reducir la cantidad de residuos que terminan en los rellenos sanitarios, incineradores, vertederos, y cualquier otro tipo de espacio de disposición final, a través de acciones de reducción, reúso y reciclaje.

Para fines prácticos se va a clasificar a los residuos en dos grupos: los que provienen de los materiales utilizados durante las fases de construcción, y los que provienen de los usuarios en la fase de operación del inmueble. Cabe destacar que esta sección es una de las que está más relacionada a la EC, ya que se apega a su principio de evitar residuos innecesarios así como de revalorizar aquellos que no se puedan dejar de generar.

Para los primeros, hay que recordar que antes que cualquier otra opción está el reducir, lo que quiere decir que siempre se debe buscar construir con el mínimo de recursos posible, a través de la reutilización. Esto es más evidente en el caso de las remodelaciones: se debe tratar de mantener en la medida de lo posible los elementos estructurales (muros, losas y sistemas aislantes), así como los no estructurales (muros divisorios, puertas, mosaicos del suelo), así como buscar la utilización de materiales que sean reciclados de otros sitios. Una forma de incentivar esto es a través de apoyos gubernamentales a empresas que se dediquen a la transportación de materiales de una obra a otra, al mismo tiempo que una reducción en el costo del servicio a los clientes que van a utilizar estos materiales.

Para las nuevas construcciones (ya sea de un edificio completo o una ampliación de uno ya existente), la recomendación sería conducir un Análisis de Ciclo de Vida. En el capítulo anterior ya se describió a detalle cuáles son los indicadores y parámetros que consideramos deben tomarse en cuenta, pero recordemos que los pasos de esta metodología son:

1. Definir el objetivo y el alcance del análisis.
2. Recolectar información de los materiales y recursos, así como plantear los diferentes escenarios (en esta etapa es muy importante contar con los ACV de los materiales,

que en el capítulo anterior mencionamos debe llevar a cabo su fabricante, pero en su defecto se puede recurrir a sus Declaraciones Ambientales de Producto).

3. Realizar los cálculos de los impactos utilizando un software especializado de ACV.
4. Interpretar los resultados y alcanzar una conclusión de la mejor alternativa.

La sugerencia es hacer una comparación de cómo sería la forma “tradicional” de construir esta infraestructura (inclusive tomando como base el proceso constructivo de otro edificio similar) vs una forma “mejorada” (que tome en cuenta los impactos ambientales, sociales y económicos que se describen en el capítulo tres). De esta forma podremos evaluar si realmente se está logrando una reducción de las afectaciones y en qué magnitud.

En el caso de que sea tomada como línea de referencia la construcción de otro edificio, consideramos que para que los resultados sean confiables esta otra edificación tiene que ser de un tamaño, función y consumo energético iguales o comparables a los de la que se pretende erigir. También se debe establecer la misma vida útil (distintos estudios sugieren al menos 60 años), y la zona donde se va a localizar también debe ser similar, además de utilizar el mismo software los parámetros del ACV. Toda la información debe cumplir con lo establecido en la norma ISO 14044. Algunos ejemplos de indicadores ambientales que consideramos se deben incluir en el estudio son: eutrofización, agotamiento de recursos no renovables, emisiones de GEI, desplazamiento de fauna, número de hectáreas deforestadas, acidificación de suelo o agua, y la formación de ozono troposférico. Debe incluir aquellos causados por los materiales utilizados, puesto que los elige el constructor.

Este debe dar preferencia a aquellos productos que hayan sido elaborados con materias primas extraídas de forma responsable, o con materias de segundo uso, y lo más importante, que cuenten con información de sus impactos ambientales y sociales, ya que de esta forma las empresas que los fabrican se verán más motivadas a buscar impactos positivos para poder reportarlos aquí. Pueden incluir si cuentan con un plan para reducir su huella de carbono, con acciones que van desde una reducción en el empaquetado, hasta la implementación del uso de energías renovables en el proceso de fabricación. En este punto nos gustaría resaltar el hecho de que esta información debería de estar disponible para cualquier persona que quiera consultarla, en una base de datos que contenga todo lo relacionado al producto, su proceso, y su comportamiento esperado durante su vida útil. No todo se trata de reciclaje, otra forma en la que los materiales pueden ser considerados como sustentables es si reducen o eliminan la generación de residuos peligrosos durante su fabricación. En el ámbito social, priorizar el uso de materiales cuyas empresas estén generando empleos locales, tengan un programa de becas, ayudas alimentarias, o cualquier otro tipo de ayuda a la comunidad.

Existen organizaciones que se dedican a establecer los lineamientos para determinar la sustentabilidad de un material, como es el caso de Global Green Tag, una certificación aceptada en 80 países (incluyendo México), que hace una evaluación de los componentes de un material, así como una lista de los riesgos ambientales en cada etapa de su vida útil.

En el caso del segundo grupo, la mejor sugerencia es que se haga obligatoria la separación de residuos en el edificio, y por lo mismo es necesario tener contenedores para cada uno de

estos, siendo los principales: papel, cartón, vidrio, plásticos, baterías, y electrodomésticos, aunque puede haber más clasificaciones. Los primeros 4 grupos pueden ser fácilmente dirigidos hacia centros de reciclaje, son los otros 3 los que de no ser adecuadamente tratados pueden tener graves consecuencias para el ambiente y la salud humana. Pensemos que una sola pila alcalina llega a inutilizar 167,000 litros. Los electrodomésticos y otros aparatos electrónicos no se quedan atrás: las baterías de los celulares modernos pueden contaminar hasta 50,000 litros y un televisor hasta 80,000 litros de agua.⁴²

Se debe dar especial atención a recolectar aquellos productos que contengan mercurio, ya que es el principal contaminante y no solamente para el ambiente, sino que también es perjudicial para la salud de los animales y seres humanos que consumen estas aguas afectadas, ya que pueden producir daños en el cerebro y en el sistema nervioso. Otros metales que afectan a la salud son: el plomo, potencial el deterioro cerebral y en el sistema circulatorio; el cadmio, que produce alteraciones en la reproducción, llegando a causar infertilidad; el cromo, que afecta a los riñones y los huesos. Es por esto que las lámparas en el edificio deben contener un bajo porcentaje de mercurio, las tuberías de agua y luz deben sustituirse por PVC u otro material, ya que normalmente están hechas de cobre pero contienen plomo en bajas cantidades, y evitar por completo las pinturas que contienen cadmio adicional, tanto en interiores como exteriores.

Todos estos se encuentran presentes en las baterías y otras partes de electrónicos que utilizamos diariamente en la oficina o en el hogar. Muchas veces estos materiales pueden ser reutilizados en la fabricación de nuevos productos, apoyando aún más al modelo de EC.

4.1.3 Aprovechamiento hídrico y energético

En el capítulo uno ya se habló de la importancia que tiene el agua en todas las actividades del ser humano, y de por qué se trata de un recurso no renovable, así como también de la situación hídrica actual en el país. También se describieron algunas ideas para reducir el consumo de agua durante la obra, por lo que las propuestas que se presentan a continuación son aplicables para la fase operacional del edificio, que es la que de hecho va a consumir una mayor cantidad a través del tiempo.

Para reducir este consumo en el exterior del edificio, se puede ahorrar una cantidad considerable si las plantas que se colocan son seleccionadas con el criterio de que no requieren de un sistema de irrigación continuo, así como un diseño óptimo de esta red. Si hay alguna piscina al aire libre se recomienda cubrirla cuando llueva, ya que de esta forma no se va a contaminar y no será necesario recircular el agua con mayor frecuencia.

Para el consumo interno, la clave está en utilizar todos los muebles ahorradores que sea posible: inodoros, regaderas, mingitorios, lavabos, etc. Aunque sea una inversión un poco más fuerte en un inicio, con el tiempo se va a ver compensado por el ahorro de la cuenta del agua. De la misma manera, el diseño interno de la red de distribución es sumamente importante, la selección de los accesorios que se van a utilizar en el sistema de tuberías, así

⁴² Datos obtenidos de *La basura electrónica y su peligro para el medio ambiente*. (2023). National Geographic España.

como el acomodo de estas dentro de las instalaciones deben seguir un diseño que evite la mayor cantidad de pérdidas de energía por fricción, ya que de esta forma se estará ahorrando energía de las bombas pero también se eficiente el consumo de los muebles.

Otro sector que consume mucho de este recurso hídrico es el de la climatización del edificio. Para mitigar este efecto, se sugiere que un porcentaje del agua que ingresa al sistema provenga de otras fuentes, es decir, que sea “agua reciclada”. Esta puede ser utilizada también en sistemas como el boiler o de humidificación. Las fuentes pueden ser aguas grises, de lluvia, agua de mar tratada, entre otras. Cabe mencionar que para cada una sería necesario construir una cisterna, por lo que se sugiere escoger solamente una alternativa. El agua de lluvia también puede servir para hacer las descargas de los WC, ya que se puede recolectar en la azotea o roof garden, siempre y cuando los registros por donde baja no estén cerca de un asador donde se pueda contaminar con aceites.

En un estudio elaborado por el Centro Mario Molina, del que ya se habló previamente en el capítulo tres, compararon una forma eficiente vs una tradicional de construir el mismo edificio a través de la elaboración de ACV para cada uno de los casos, y enlistan algunas de las medidas respecto a la eficiencia hídrica que influyen en el impacto ambiental, tanto para residenciales como para oficinas: la reutilización de las aguas grises, utilizar calentadores solares en lugar de boiler, y la captación y tratamiento de agua de lluvia para utilizarla como potable.

La energía eléctrica es un recurso al que a veces no se le da mucha importancia, hasta que no tenemos acceso a ella. Especialmente en esta era de tecnología, cuando no tenemos electricidad se siente como si estuviéramos en la edad de piedra y sinceramente no somos funcionales sin esta. No se trata de un recurso infinito, por eso tenemos que aprender a efficientar el consumo de esta en el hogar y en el lugar en donde trabajamos.

El primer paso hacia la eficiencia eléctrica es conocer la forma en la que se comporta el edificio en el día a día, identificando la secuencia de operaciones de la maquinaria (a qué hora se prende el alumbrado, los motores de generación, los sistemas de riego, etc.), en qué horario está más ocupado el inmueble, lo que a su vez implica conocer cuándo es que se ocupa la mayor cantidad de energía. Todo esto varía según el día de la semana, la estación del año, y la zona climática donde se encuentra ubicado, por lo que es necesario tomar en cuenta todas las consideraciones posibles para un análisis completo.

Una vez hecho esto, es muy recomendable establecer un objetivo de consumo basado en las observaciones que se hicieron previamente. Esto sirve para poder priorizar las estrategias de eficiencia, reducir costos innecesarios, y en general nos ayuda a mejorar el rendimiento de las instalaciones. También permite desarrollar un modelo preliminar de energía con este número, ya que con una meta clara es más sencillo plantear las estrategias para alcanzarla. Esta debe de estar expresada en una unidad, y hemos encontrado que comúnmente se utilizan las emisiones de CO2 equivalentes, ya que reducir estas son un punto crítico para desacelerar el calentamiento global.

En el mismo estudio del Centro Mario Molina se incluyen recomendaciones para reducir las emisiones de GEI: instalar paneles fotovoltaicos para la iluminación de áreas comunes y bombeo de agua, utilizar iluminación LED en lugar de los tubos fluorescentes T12, sobre todo en edificios de oficinas, tubos solares para aprovechamiento de luz natural, y aunque este ya no está incluido ahí, también se sugiere que no se utilicen refrigerantes que contengan clorofluorocarbonos (CFC) o hidroclorofluorocarburos, ya que se ha comprobado que estos tienen un potencial muy alto de depleción de la capa de ozono.

Hasta ahora, la forma más contundente de reducir la contaminación generada por el consumo energético de un edificio es que esa energía provenga de fuentes limpias (descritas en el capítulo uno), y preferiblemente de aquellas que pueden ser generadas in situ, ya que pueden estar produciendo de manera continua y almacenarla para utilizarla durante los horarios punta, lo que además de ser beneficioso para el ambiente también se traduce en un beneficio económico importante a lo largo del tiempo.

Anteriormente ya se comentó que la climatización de un edificio consume mucha agua, pero también energía. Una alternativa a los sistemas convencionales podría ser un equipo conocido como bomba de calor geotérmica, el cual se utiliza para servicio de climatización de viviendas, esto debido a que alrededor de los 15-20 metros de profundidad, la temperatura del suelo se mantiene constante durante todo el año, en un rango óptimo (entre 18 y 24°C) y en prácticamente toda la corteza terrestre. Funciona a través de un circuito cerrado de tuberías, donde fluye un líquido caloportador que recupera la temperatura geotérmica. Si el proyecto fuese una edificación que conste de una cimentación a base de pilotes, se puede aprovechar su construcción para incluir este sistema, el cual genera en promedio 4 unidades de calor por 1 de la energía con la que se alimenta la bomba, siendo un sistema eficiente, seguro y sin emisiones in situ.

La desventaja de todas estas propuestas es que la mayoría requiere de una inversión fuerte, tanto en equipos de medición, bombeo, almacenamiento, recursos humanos, etc. Creemos que una forma de mitigar esto es si las opciones alternativas de energía que se pueden utilizar en el sitio (fotovoltaica, eólica, térmica, biogás de un relleno o aguas tratadas, entre otras) ofrecen más opciones de financiamiento a plazos más largos.

Cabe resaltar que, tanto para la eficiencia energética como la hídrica, para poder identificar aquellas áreas de oportunidad en donde generar un ahorro, es necesario instalar medidores permanentes que nos permitan saber el consumo total en el edificio por áreas. Esta estrategia, que puede parecer obvia y bastante simple, es un punto clave para entender cómo se comporta hídrica y energéticamente el edificio a lo largo de la vida útil. Lo que no se mide, no se puede mejorar.

4.1.4 Gestión de RCD

En el capítulo uno, el subtema 1.3.3.2 está dedicado exclusivamente a describir los Residuos de Construcción y Demolición (RCD), cómo se clasifican, los diferentes materiales que los conforman, entre otros.. Así pues, esta sección se va a enfocar a hablar de algunas propuestas sobre cómo gestionarlos para que tengan el menor impacto posible, no sólo en

el ambiente sino que al disminuir estos desperdicios también se tiene un ahorro económico importante, y lo más destacable es que se evita tener que construir u ocupar lugar en un sitio de disposición, así como contribuye a la generación de empleos al crear o hacer crecer sitios de recolección, reciclaje y reúso de materiales.

El punto crítico de donde debe partir esta idea es en desarrollar un buen Plan de Manejo de Residuos para todos los que se generen tanto en la parte de demolición como en la construcción. El primer paso para esto es identificar qué tipo de residuos y qué etapa de la obra se van a generar: orgánicos por las comidas de los trabajadores en sitio, inorgánicos por los papeles de baño e impresiones que ya no sean útiles, peligrosos y no peligrosos. Una vez sabiendo esto, se pueden establecer las estrategias que se han de llevar a cabo con cada uno de estos tipos, así como metas de reutilización, reciclaje y recuperación.

Existe una forma de calcular una relación de cuántos metros cúbicos de residuos se generan por metro cuadrado de construcción, y para México este número suma alrededor de 6 millones de RCD al año⁴³, compuestos por material de relleno (39%), escombros (24%), concreto (25%), y otros materiales (12%). De acuerdo a la normativa, estos deberían ser separados y dispuestos en rellenos sanitarios, pero sólo el 20% se dispone de esta forma, y 10% termina en la vía pública, ocasionando obstrucciones en el drenaje y arroyos.

Como ya se mencionó anteriormente, no se puede mejorar lo que no se mide, y esto es especialmente cierto con el tema de los residuos. Es vital desarrollar una técnica efectiva para poder cuantificar con exactitud la cantidad de estos que se van generando, y separarlos en tantas categorías como sea posible. Entre más control haya en la separación y clasificación de residuos, será mucho más fácil diversificarlos a sus respectivos destinos. En este trabajo se habla de tres procesos que pueden seguir los RCD.

El primero es la reutilización, que consiste en deconstruir los elementos (siempre y cuando estos se encuentren en buen estado) para utilizarlos nuevamente ya sea en la misma obra u otro proyecto. Generalmente se trata de elementos no estructurales que pueden ser removidos con relativa facilidad, por ejemplo, puertas, ventanas, elementos decorativos, entre otros. Hay veces en las que las empresas se pueden beneficiar económicamente de estos, pero la propuesta es hacerlo sin buscar lucrar de ello, y añadiendo que la prioridad debería ser donar estos elementos a organizaciones benéficas que se dediquen a construir hogares de bajo presupuesto y que pueden aprovechar muy bien estos recursos.

El segundo es el reciclaje, que es valorizar a los residuos a través de algún tipo de proceso para que puedan ser utilizados nuevamente. Para esto es necesario hacer una investigación sobre las organizaciones que ofrecen estos servicios, y lo más importante es hacer una total separación de estos RCD en situ. Esto quiere decir tener designado un punto o de preferencia un contenedor donde depositar únicamente este material. Los elementos que más se prestan para esto son aquellos compuestos por madera, metal, paneles de yeso, y

⁴³Dato obtenido de *REUTILIZACIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (RCD) EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN*. (2020). Sánchez, P.

elementos de concreto. Los últimos tienen la tasa más alta de reciclaje, puesto que se pueden triturar y transformar en agregados grueso y fino, adoquines, o bloques.

En este apartado también es importante resaltar que las obras y fabricantes de materiales deben tratar de aprovechar todo lo que sea posible estas opciones de reuso y reciclado en la elaboración de sus productos o proyectos. Por ejemplo, existe una empresa francesa llamada Veolia, que tiene dos plantas en México de Combustible Sólido Formulado, que es basura inorgánica (ropa, medicinas caducas, plásticos, cartón, entre otros), finamente triturada que transportan a las cementeras y utilizan como combustible para calentar los hornos sin necesidad de utilizar carbón.

También mencionar que estas dos ideas pueden funcionar mucho mejor si van de la mano con un programa de recolección o recuperación de RCD. Esto es generalmente gestionado por el productor quien posteriormente lo puede utilizar en sus procesos para fabricar nuevos materiales o beneficiarse económicamente de su venta. También se puede aplicar para muebles, recubrimientos del suelo, o tejas del techo.

El tercer camino que pueden seguir los RCD es la disposición final. Esta opción solamente se debería aplicar cuando las otras alternativas no sean viables ya sea porque se trata de un residuo peligroso o porque no hay plantas de recolección o reciclaje cerca de la ubicación donde se está construyendo. Esta puede incluir la incineración y la disposición en rellenos sanitarios, pero para el caso de los residuos peligrosos se deben mandar a un sitio que pueda darles el correcto tratamiento para que al momento de disponerlos no causen la erosión del suelo o contaminen a los efluentes de agua.

Es natural que existan residuos que simplemente no se pueden evitar, pero en todas las etapas de los proyectos se debe hacer una prioridad el reducir al máximo este número. Contabilizar y separar los residuos sí tiene un impacto económico muy grande en la obra, por una parte existe un cierto porcentaje de estos que se puede valorizar, y para la otra parte que no, se puede ahorrar bastante al tener una buena logística con los camiones de transporte que van a recolectarlos. Es un hecho que los residuos no compactados pueden incluir un 40% de aire, lo que incrementa los costos de los camiones que se los llevan, lo cual se puede evitar si se sabe con anterioridad cuánto se generó de cada tipo y evaluando cuál es la mejor estrategia para disponerlos.

La última recomendación es que sería muy beneficioso para todas las empresas involucradas que se tuviera un catálogo a nivel nacional de las organizaciones certificadas para disponer de los RCD, ya sea a través del reciclaje o tratamientos finales, donde además se anuncien los programas de recolección o reutilización que tienen, y haya foros de discusión para la creación de nuevas estrategias de tratamiento de RCD. Resaltamos una vez más que la circularidad de la industria sólo será alcanzable si todos los involucrados participamos activamente en su implementación.

4.2. Operación de la edificación

A lo largo del periodo de ocupación del edificio es importante tener en cuenta diversas cuestiones para aumentar la vida útil del mismo sin sacrificar una cantidad innecesaria de recursos, ya sean materiales, económicos o humanos. Como ya se ha explicado, la mayor parte de estos escenarios deben preverse desde la etapa de la planificación y diseño, pero ahora, en la etapa de operación de la edificación, es necesario comprobar que se lleven a cabo.

Según los principios de la EC, se deben aprovechar al máximo los recursos naturales y evitar la generación de residuos durante la realización de actividades antropogénicas, tal como pasa con los procesos naturales. Una edificación debe incorporar procesos eficientes y que generen efectos (contaminación) capaz de absorberse por la naturaleza, a lo largo de su ocupación, por lo que debe proyectarse su impacto durante los años que estará operando

4.2.1 Adaptación local

La infraestructura sin duda es un pilar para la civilización moderna y debe continuar desarrollándose para satisfacer las necesidades humanas. Pero para poder llevar a cabo un proyecto sostenible, debe existir una relación armoniosa entre el medio social y natural, logrando mejoras en la calidad de vida de la población actual sin perjudicar la futura. Una edificación tiene la tarea de adaptarse al ecosistema donde está ubicada y no perder esta armonía con su entorno.

Un ejemplo puede ser la relación de un edificio que opera continuamente de noche con animales que se mantienen activos en ese mismo horario, impactando directamente en el hábitat donde estos seres realizan sus actividades vitales. A esto se le conoce como contaminación lumínica nocturna, donde un estudio zootécnico de Berlín comprobó que los patrones de migración de varios tipos de murciélagos se ven comprometidos por el simple hecho de no invertir en sistemas de iluminación que se activen bajo demanda, regulando el brillo en función de la presencia humana en tiempo real. Por ello fue que un distrito en Berlín optó por instalar una red de alumbrado público inteligente, que presenta un ahorro de hasta el 80% de energía al evitar alumbrar calles desiertas y, por supuesto, no afecta el comportamiento de animales nocturnos.

Casos como estos hay muchos, de igual o mayor importancia que el desplazamiento de fauna local, tales como el impacto de una edificación con las fuentes de agua superficial y el ciclo de recargamiento de acuíferos. Por esta razón, hay un área verde determinada que requiere una construcción y que permita la infiltración de agua a los mantos acuíferos para ser considerada sustentable, hablamos del 10% de área libre según la NMX-AA-164-SCFI-2013.

En zonas urbanas, el coeficiente de escurrimiento llega a ser de hasta 95% en calles pavimentadas, por lo que esta agua precipitada debe necesariamente recolectarse para evitar inundaciones, a diferencia de cuando había un terreno natural donde el agua de lluvia

podía infiltrarse en el terreno y aprovecharse por la vegetación o los cuerpos de agua, beneficiándose además de la capacidad filtrante y depurativa del suelo. Una consideración adicional es que el agua que escurre por la acera o el pavimento ya no es aprovechable por la naturaleza como originalmente lo era, ya que carga consigo contaminantes como aceites, pesticidas, hidrocarburos, basura, sedimentos asfálticos, etc., y debe forzosamente tratarse antes de devolverse a la naturaleza.

Para replicar la hidrología natural y apegarse al balance hídrico local, según los datos históricos, existen consideraciones que un edificio puede llevar a cabo antes de permitir que el agua pluvial escurra hacia los sistemas de alcantarillado y sea redirigido a zonas aprovechables, tales como:

- *Sistemas de bioretención, como jardines de lluvia o techos con vegetación*, los cuales mediante vegetación local filtran la escorrentía antes de llegar al desagüe y almacenan el agua pluvial que cae sobre calles y aceras, redirigiéndola a zonas verdes y regenerando el paisaje (jardines de lluvia, techos con vegetación). Se llevan a cabo procesos de fitodegradación, donde los contaminantes orgánicos se metabolizan y mineralizan, mientras los inorgánicos son absorbidos por tallos y raíces.
- *Zanjas y sistemas de infiltración*, para el reabastecimiento de acuíferos, estructuras excavadas poco profundas hecha a base de materiales permeables que liberan el agua pluvial al suelo y funciona como tratamiento preliminar de la escorrentía, siendo un método muy efectivo para controlar el escape de agua de las alcantarillas y la captura de contaminantes en zonas urbanizadas.
- *Pavimentos permeables*, permite la infiltración de la escorrentía en el suelo o en un depósito de almacenamiento de agua instalado. Sustancialmente, sólo se requiere eliminar o disminuir el agregado fino de la mezcla para la superficie de rodamiento, aumentando la porosidad, donde es necesario añadir los aditivos correspondientes. Una de sus desventajas principales es que, debido a su porosidad, no está diseñado para resistir las cargas necesarias para que transiten vehículos pesados sobre él, por lo que una de las estrategias recomendadas es seguir con la división especial de carriles en las vialidades, como sucede con los carriles peatonales y para ciclistas, uno para vehículos ligeros y otro para pesados/masivo, donde sólo este último no cuenta con concreto permeable.

Todas estas propuestas sirven para aumentar el tiempo de concentración de los escurrimientos, generando zonas donde el agua se pueda infiltrar o almacenar, y donde el nivel freático se encuentre a una distancia considerable del fondo de esta para que no interfiera con el volumen de acopio. El agua drenada debe de tener la capacidad de distribuirse en el terreno, por que este también debe tener esa capacidad filtrante; o en su caso, instalar sistemas que faciliten el tránsito del agua a las capas inferiores (tubería perforada).

Por el contrario, los pozos de absorción o infiltración comúnmente utilizados son muy propensos a azolverse después de la primera o segunda temporada de lluvia, demandando un mantenimiento continuo y en muchos casos exhaustivo, ya que puede involucrar gran parte del sistema de drenaje (especialmente en las rejillas de la zanja colectora). Mientras

los sistemas de bio retención e infiltración vistos requieren de pocas inspecciones para verificar que no haya acumulación de sedimentos o desechos orgánicos producto de la misma vegetación, con una periodicidad mensual para estabilizarlos será suficiente.

Estos sistemas minimizan costos asignados a la infraestructura de drenaje, ya que administran de mejor forma las prácticas de captación, almacenamiento e infiltración de las alcantarillas por y para el beneficio del entorno natural local, dejando de saturar los espacios con pozos de absorción. Para el caso de Estados Unidos y Canadá, existe el término de Desarrollo de Bajo Impacto (LID, por sus siglas en inglés) que hace referencia a la gestión de la escorrentía pluvial, imitando procesos de infiltración, evapotranspiración o uso de aguas pluviales, buscando que no se traten como producto de desecho. Las consideraciones anteriormente enlistadas implementan principios de LID y mantienen o restauran la función hidrológica y ecológica de una cuenca.

Hasta ahora podemos identificar dos principales impactos generados por la impermeabilización del suelo: las inundaciones pluviales y la contaminación de la escorrentía. Pero es necesario añadir un tercero, el efecto isla de calor, relacionado con la falta de humedad y la retención de la radiación solar del terreno.

Básicamente es un fenómeno en el que la temperatura en áreas urbanas es significativamente más alta que en áreas rurales circundantes, debido a la densidad de techos, aceras, caminos, edificios, estacionamientos, falta de áreas verdes y de liberación de calor residual. Estos espacios se fabrican con concreto y asfalto, los cuales tienen una capacidad alta para absorber y retener el calor del sol, elevando la temperatura (este efecto se percibe más durante las noches, cuando el calor almacenado se libera lentamente) y reduciendo la evapotranspiración y el almacenamiento de agua en el subsuelo, anulando la refrigeración natural.

Estos efectos pueden ser contrarrestados al remediar la falta de vegetación en áreas urbanas y edificaciones, donde los techos y accesos sería el principal objetivo para esta práctica, lo cual trae ventajas en calidad del aire y estética, pero también en confort térmico y eficiencia energética, ya que, como se mencionó, por las noches se podría utilizar menos aire acondicionado mientras opera el edificio, minimizando el consumo energético y emisión de GEIs. A su vez, existen medidas como: cubrir los techos con sistemas de generación de energía (sustentables de preferencia, como turbinas eólicas y captadores solares), el uso de materiales reflectantes para superficies exteriores (donde se compruebe que no se presenten deslumbramientos peligrosos o molestos para la salud o biodiversidad), etc.

Por estas y más razones, la relación que mantiene un edificio con su entorno requiere de una planeación minuciosa para que uno no perjudique al otro, partiendo de la experiencia de distintas profesiones que permitan realizar estudios ambientales y sociales tan completos como los técnicos, financieros y legales, asegurando que el proyecto cumpla con el objetivo para el que fue construido en el tiempo que se tiene contemplada su operación. Es importante maximizar las oportunidades para la adopción integrada y rentable de estrategias de diseño, construcción y operación ecológicas que enfatizan el objetivo de brindar beneficios, considerando los impactos, riesgos y compensaciones a largo plazo.

4.2.2 Eficiencia en el consumo de agua

Retomando la importancia del uso eficiente de recursos vitales, el agua es uno de los que toma más relevancia y se le debe brindar la importancia que merece en este apartado.

Para la fase de diseño y construcción de la edificación, fue necesario concebir instalaciones hidrosanitarias que optimicen la red, mediante muebles ahorradores, sus accesorios necesarios, y un sistema para utilizar agua reciclada (proveniente de aguas grises, negras y pluviales).

La idea del ahorro nace de la premisa donde no se gasta la misma cantidad de agua que los sistemas convencionales, por lo que resulta necesario demostrar este hecho, determinando el consumo de agua de la edificación con un sistema básico y uno eficiente, y el cual debe ser 20% menor en comparación para considerarse ahorro.⁴⁴

Todo esto se calcula estimando la cantidad de ocupación permanente y temporal (50% de ocupación femenina y 50% de ocupación masculina), el consumo de agua considerando el tipo de clima y uso que se le dará al edificio (salud, educación, comercial, oficina, residencial, industrial, recreación, seguridad, etc.) obtenido del Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (MAPAS), el agua pluvial anual potencialmente captable y aprovechable según datos de precipitación histórica (restando este valor al del consumo de agua convencional) y, por último, una comparativa con el consumo de agua propuesto con los equipos modernos.

Hay que recordar que estos cálculos se pueden aplicar a edificios existentes que buscan eficientar sus procesos, y no necesariamente para los que están en la etapa de diseño. Hoy en día ya hay empresas que se dedican a elevar el desempeño operacional de cualquier tipo de edificación, haciendo modificaciones al proyecto original con tecnologías sustentables. Algunas de estas técnicas son llamadas pasivas, haciendo énfasis en la bioclimatización de la edificación, para aplicar en menor medida los sistemas mecánicos que llegan a ser más costosos (activas).

Para eficientar aún más el sistema hidráulico, expertos estipulan que es posible mandar únicamente el 30% de las aguas residuales al alcantarillado público (cumpliendo claro con los límites permisibles de contaminantes), donde el resto se envía a una planta de tratamiento instalada en el mismo edificio, para aprovechar este invaluable recurso. Estas consideraciones aplican sobre todo a edificios mayores a 2500m² de construcción, que además deben contar con un sistema de tratamiento de lodos (o en su caso, contar con el apoyo de una empresa capaz y certificada para manejarlos). Este sistema de tratamiento de aguas residuales debe basarse en procesos mayormente físicos, facilitando el proceso.

El 70% de las aguas residuales pueden ser utilizadas para riego de áreas verdes, descargas sanitarias, infiltración al subsuelo, lavado de patios y demás amenidades, etc. Como podemos observar, puede que esta gran cantidad de agua reciclada al final sea un

⁴⁴ Según la NMX-AA-164-SCFI-2013, sobre los Criterios y requerimientos ambientales mínimos para edificaciones sustentables.

excedente, por lo que es posible compartir este recurso tratado con viviendas y edificios aledaños, para que cubran la demanda requerida y evitar mandarla al alcantarillado después de todo el esfuerzo por hacerla aprovechable.

Con todas estas medidas, se promueve una cultura de no desperdicio de agua y se extiende su vida útil dentro del edificio, siempre en busca de su aprovechamiento interno antes de cederle la responsabilidad a los servicios públicos. Todo esto en conjunto nos habla de los pilares de la EC.

Existen estrategias extra como: los sistemas de bombeo de recirculación para agua caliente (impidiendo que esta se enfríe en la tubería y tenga que expulsar antes de sacar nueva agua caliente, sino que sale de inmediato), sustitución de hidroneumáticos, controles inteligentes de riego, etc. Pero el llevar un registro del consumo de agua mensual nunca debe faltar, estudiando y aplicando estrategias para mejorar el rendimiento del agua, donde el objetivo principal sea reducir la demanda y comprobar que en efecto se cumpla.

Como bien se mencionó en el apartado anterior, es difícil y costoso tener al mismo tiempo un sistema de captación pluvial, de tratamiento de aguas y de realimentación trabajando al mismo tiempo, ya que cada uno es independiente del resto, sin mencionar el sistema de agua potable usual. Especialistas en el tema recomiendan darle prioridad al sistema de tratamiento de aguas, ya que se tiene una certeza más grande de obtener aguas residuales por el propio uso del edificio y sus muebles día con día, antes que de un evento pluvial, el cual no sucede todos los meses del año de forma continua, sino por temporadas.

Entendiendo esto último, podemos concluir que existe un costo de adquisición alto, pero con estas prácticas es seguro que habrá un retorno de inversión rápido, además del indiscutible ahorro de recursos. “Dependiendo del sistema, el periodo de retorno de inversión es de aproximadamente cuatro años y no diez como se acostumbraba en el pasado” según el director general de Bioe, Alejandro Lirusso, en el Webinar M.S.V. con Bioe: Actualización Sustentable para edificaciones existentes. Mediante un caso práctico, demostraron que:

- La sobreinversión para mejorar la red de servicios que abastecen una vivienda es 4.3 veces mayor, respecto a los sistemas usuales, en contraste con las estrategias de bioe+
- Los gastos de operación anual son sólo el 12.7% del total de un escenario convencional
- El retorno directo de inversión se da a los 6 años desde que se implantaron los sistemas
- Si consideramos una Tasa Interna de Retorno (TIR), debido a la inflación, el retorno de inversión indexado es de 4 años y 10 meses.
- Existen 75% menos emisiones de GEIs
- Hubo un ahorro del 82% en agua, 70% en electricidad, 78% en gas, 83% en drenaje
- Estas estrategias también aportan beneficios fiscales y aumento de plusvalía de la propiedad, además de la clara adopción de responsabilidad ambiental, mejorando la imagen corporativa ante la competencia

inversión + operación anual	Usual		bioe	
	Inversión	Operación	Inversión	Operación
total inversión / operación	\$107,125.32	\$70,817.42	\$465,009.50	\$8,998.97
diferencia totales			\$357,884.18	-\$61,818.45
inversión upgrade	Inversión	Operación	Inversión	Operación
Suministro agua de red/pozo		12,545.85		2,221.11
Sistema captación pluvial			18,000.00	
Descarga sanitaria		2,082.65		466.77
Descarga pluvial		724.25		-
Cistema agua cruda	21,000.00		70,000.00	
Bombeo Inteligente Agua Cruda	10,000.00		14,995.21	
Bombeo Secundario	9,125.32		8,179.21	
Potabilizacion agua cruda			22,000.00	
Garrafones de Agua potable		4,320.00		
Calentamiento Agua Caliente (Gas LP)	22,000.00	24,874.13	89,000.00	5,472.31
Calentamiento Solar			78,000.00	
Planta de tratamiento de aguas residuales			70,000.00	
Bombeo PTAR			6,816.01	
Cistema reuso agua tratada			17,500.00	
Filtracion reuso agua tratada			12,000.00	
Consumo/generación eléctrica		26,270.54	33,519.07	838.78
Proyecto de Ingeniería			25,000.00	

Figura 4.1: Comparativa de sobreinversión al eficientar sistemas hidráulicos y energéticos
Fuente: Canal SUMe Sustentabilidad para México, A.C. (16 de febrero de 2023). Webinar M.S.V. con Bioe: Actualización Sustentable para edificaciones existentes [Archivo de video]. YouTube.

anual data	Usual	bioe	%	CO ₂
bioe Index				
eléctricidad	3,650 kWh	1,140 kWh	70 %	1.06 tCO ₂ eq
agua	880 m ³	156 m ³	82 %	
gas	2,068 lts	455 lts	78 %	2.55 tCO ₂ eq
drenaje	787 m ³	131 m ³	83 %	
emisiones	4.80 tCO ₂ eq	1.20 tCO ₂ eq	75 %	3.61 tCO ₂ eq
Investment				
inversión	107,125 MXN	465,009 MXN		
operativo	-92,011 MXN	-32,532 MXN	65 %	
retorno directo de inversión		6 años 0 meses		
retorno de inversión Indexada		4 años 10 meses		
inversión adicional estimada			6.70 %	
water management				
agua red	100 %	21 %	79 %	
ahorro		46 %		
pluvial		28 %		
reuso wc		5 %		
reuso riego	- %	172 %		
cisterna	6 m ³	23 m ³	383 %	

Figura 4.2: Índices de consumo al eficientar sistemas hidráulicos y energéticos
Fuente: Canal SUMe Sustentabilidad para México, A.C. (16 de febrero de 2023). Webinar M.S.V. con Bioe: Actualización Sustentable para edificaciones existentes [Archivo de video]. YouTube.

Otra de las recomendaciones que se han estado explorando en los últimos años es el uso de aguas tratadas para las actividades en obra, no solamente de limpieza, sino por ejemplo para la elaboración de concreto, mortero, pasta para acabados, entre otros. Si se sabe que el agua representa aproximadamente entre el 10 al 25% del volumen del concreto, se entiende que este líquido juega un papel muy importante en las propiedades y el comportamiento del concreto. Incluso utilizar algunos tipos de agua potable sin ninguna verificación previa puede resultar en efectos no deseados puesto que aunque sea catalogada como potable, el agua puede contener pequeñas cantidades de nitrato o azúcares que afecten las propiedades de la mezcla.

Estas especificaciones o requerimientos del agua han hecho difícil que se considere el uso de aguas tratadas en este tipo de actividades, aunque también hay varios textos que defienden el punto de que, si se estudian a fondo las características que se requieren del agua se puede diseñar una planta de tratamiento cuya función sea suministrar a las obras, especialmente en aquellos países con un índice de construcción tan alto como lo es México.

4.2.3 Optimización de los sistemas energéticos

El objetivo de este apartado es minimizar el uso de combustibles fósiles mediante la instalación de sistemas energéticos eficientes que permitan el ahorro de energía eléctrica y, en consecuencia, las emisiones de gases de efecto invernadero. Para proponer soluciones y lograr estos objetivos, es indispensable entender el significado de envolvente y lo crucial que es para la regulación térmica y energética de un edificio.

La envolvente de un edificio es la capa que separa el interior del edificio con el exterior, componiéndose de diversos elementos de construcción, tales como paredes, techos, pisos, puertas y ventanas. Esta actúa como protector de factores ambientales como sol y lluvia, y por lo tanto también de altas o bajas temperaturas, ya que determina la cantidad de calor que entra y sale del interior, ya sea a través de la conducción térmica a través de los componentes previamente mencionados, o simplemente por la radiación solar recibida.

Un diseño inteligente de la envolvente puede ayudar a minimizar la necesidad de sistemas de calefacción y refrigeración, lo que a su vez reduce el consumo de energía y los costos operativos. Todo esto lo podemos asociar al término de bioclimatización que se mencionó en capítulos anteriores, donde el propio diseño de la edificación contribuye a rebajar la temperatura interior de la edificación, manteniendo el confort térmico, una buena ventilación y buena calidad del aire, siendo una alternativa ecológica que permite ahorros energéticos, económicos, y previene la generación de contaminantes a futuro.

Las características de envolvente y bioclimatización más populares que permiten estos efectos positivos son:

Ángulo de inclinación de la superficie exterior con respecto a la vertical

En techos, muros, superficie interior y pisos. Algo tan simple como la orientación de estos elementos en una edificación, puede beneficiar a la sencilla captación de la energía solar en invierno o de reducir su exposición en los veranos. Es así como se define que, después del

equinoccio de otoño, como las salidas y puestas de sol tienden a desplazarse hacia el sur, es la orientación que debe recibir más atención para captar y aprovechar la luz y calor; mientras que en los veranos reciben más radiación el este y oeste, el sur puede quedar protegido de esta exposición con diferentes elementos arquitectónicos extra, además de una buena inclinación del techo, según la latitud y edificios vecinos que haya.

Uso de elementos arquitectónicos

Tales como aleros, pérgolas, porches, persianas o toldos; los cuales no permiten una penetración directa de radiación solar, especialmente en veranos, ya que son elevados y con cierta inclinación, permiten la entrada de luz que viene del sur en inviernos. Por su parte, la radiación difusa puede tratarse con la adecuada vegetación o una buena corriente de aire en los espacios.

Aislantes térmicos

La utilización de materiales aislantes genera importantes ahorros energéticos a lo largo de la vida útil del edificio, a diferencia de materiales más tradicionales como yeso y block, existen materiales con una conductividad térmica convenientemente menor. Tal es el caso del poliestireno y el PVC (donde el valor de conductividad térmica ronda entre 0.033-0.057 W/mK según estudios,⁴⁵ mientras los anteriores entre 0.18-0.39 W/mK). Este y más casos demuestran que los materiales porosos y los polímeros plásticos poseen una alta resistencia térmica frente a los materiales sólidos convencionales, sin mencionar que son ligeros y proveen también un aislamiento acústico. De los materiales más comunes utilizados actualmente son: fibra de vidrio, lana mineral de roca, poliestireno expandido, espuma de poliuretano, paredes verdes, placas de ferrocemento prefabricado, etc. Adicional a estos, existen materiales de un origen y extracción más amigable para el ambiente como el corcho y las fibras naturales, que se espera su uso sea cada vez más extenso.

Transparencia y opacidad

Dentro de este rubro entran muchos factores en juego, y todo depende del material, como la energía reflejada, la energía transmitida, la energía retenida y la energía emitida; todo esto por la propiedad de emisividad de los materiales. Por ejemplo, resulta conveniente utilizar vidrios de baja emisividad, así como cortinas que no retengan mucho calor, ya sea por sus composición o color, que como sabemos, mientras más oscuro más capacidad de retención posee, y mientras más claro mayor capacidad reflejante. Esto también aplica para materiales que retienen el calor del día y lo liberan paulatinamente en las noches, manteniendo una temperatura estable a lo largo del día, a esto se le conoce como inercia térmica.

La optimización de los sistemas energéticos tiene mucho que ver con la etapa de operativa, porque se debe evaluar constantemente si hay un ahorro energético para calificar el edificio como eficiente. Hablamos de una disminución de por lo menos el 10% de ganancia de calor respecto al edificio de referencia. Además, otro punto clave es que, para un edificio

⁴⁵ Valores obtenidos de *Medición de la Conductividad Térmica de Algunos Materiales Utilizados en Edificaciones*. (2008). Por el Centro Nacional de Metrología

sustentable, al menos el 10% de la demanda energética total debe satisfacerse por medio de energías renovables, instaladas en la misma edificación o fuera de la misma.

Cabe recalcar que el sistema eléctrico y energético del edificio por más y optimizado que sea (donde el cableado para la combinación de circuitos alimentadores y circuitos derivados tenga una eficiencia del 97.5% o mayor), necesita trabajar conjuntamente con aparatos que le hagan justicia, y que tengan garantía de entre 5 y 10 años para cubrir la reposición del mismo mediante el ahorro operativo que se ha mencionado constantemente a lo largo del trabajo. Esto aplica para refrigeradores y congeladores (acorde a la norma NOM-015ENER-2002), lámparas de uso general (acorde a la norma NOM-017-ENER/SCFI-2008, la NOM028-ENER-2010, la NOM-064-SCFI-2000 y la NOM-025-STPS-2008), calentadores (acorde a la NOM-003-ENER-2021), acondicionadores (acorde a la norma NOM-021ENER/SCFI y la NOM-023-ENER-2010), etc.; todo sin perder de vista su correcta instalación y mantenimiento, así como la reparación del equipo cuando sea necesario.

Para tener un mejor panorama del consumo energético que se busca, se anexa a continuación una tabla según el tipo de edificio y zona bioclimática:

Uso del edificio	Zona bioclimática			
	Cálido seco	Cálido Húmedo	Cálido Subhúmedo	Templado
Hoteles	170	200	190	120
Oficinas	120	200	105	70
Escuelas	60	70	55	40
Hospitales	260	350	240	220
Restaurantes	325	350	225	240
Centros comerciales	190	265	250	155
Tiendas de autoservicio	200	290	280	170
Otros	190	265	225	155

Tabla 4.1: Consumo energético anual de referencia kWh/m²

Fuente: Elaboración propia. Datos obtenidos de: Estrategias regionales y sectoriales para lograr un desarrollo sustentable y de baja intensidad de carbono en México. Centro Mario Molina

El sistema de medición debe abarcar más allá de los medidores CFE, con una capacidad de telemetría, instalado estratégicamente para recopilar datos históricos de consumo en Kwh, monitoreando periódicamente cualquier anomalía y resolverla al momento. Este tipo de equipos son un requisito indispensable si se busca obtener alguna certificación sustentable, donde se compruebe que el edificio cuenta con un sistema energético eficiente mediante datos del último año.

4.2.4 Mantenimiento

A lo largo del ciclo de vida del edificio, la fase de uso es la etapa más duradera frente al resto. Y, recordando que uno de los principios de la EC es maximizar el tiempo de vida útil de los recursos, debe mantenerse vigente el mayor tiempo posible para evitar que se generen residuos (o representen un riesgo para la seguridad) como consecuencia de descuidos en esta fase, así como economizar en futuras reparaciones más exhaustivas por el hecho de contemplar y atender pequeños daños en el momento.

Es natural que una edificación se deteriore con el paso del tiempo hasta llegar al fin de su vida útil, cuando ya no es viable conseguir que siga funcionando adecuadamente. Alargar su vida útil mediante acciones de conservación, conocidas como mantenimiento, es una intervención necesaria para subsanar, otorgándole características de calidad y eficiencia cercanas a las que se tenían de inicio. Se anexa a continuación la Figura 4.3, pensada para puentes pero aplicable a cualquier clase de construcción.

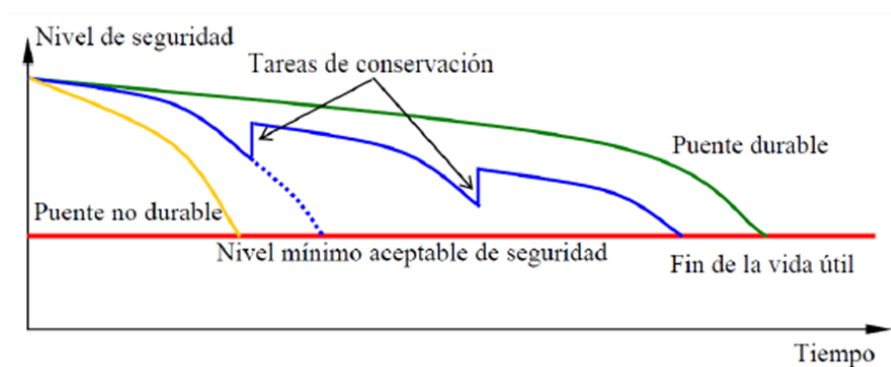


Figura 4.3: Evolución de la seguridad en la vida útil de una estructura.
Fuente: Manual de Conservación de Puentes. SCT.

Mantenimiento predictivo

Basado en una inspección y evaluación constante, el cual implica un estricto seguimiento y control técnico, basado en identificar variables y anomalías que pongan en riesgo la integridad del equipo, aunque no sea inmediato.

Mantenimiento preventivo

Anticipándose a la necesidad de reparar, mediante una supervisión continua, evitando que el inmueble se deteriore progresivamente por el simple paso del tiempo. Se interviene aunque el sistema no tenga algún defecto visible.

Mantenimiento correctivo

Arreglando los desperfectos que hayan surgido accidental o intencionalmente, por su uso o alguna eventualidad natural.

Evidentemente, destaca la importancia del mantenimiento predictivo y preventivo sobre el correctivo, por la ventaja en el tipo y cantidad de recursos necesarios de cada uno. Lo ideal no es elegir entre uno y otro, sino una combinación estratégica para ponerle frente a los daños que se puedan presentar, teniendo en mente parámetros como: el costo de pérdidas

de producción si el equipo detiene su operación, el costo de reparación, el impacto ambiental, la seguridad y la calidad con la que trabaja el sistema.

La inspección visual tradicional siempre será la opción más rentable para el caso de tipos de mantenimiento preventivo y predictivo. Para el caso de edificios, y de los servicios que lo componen, se realiza sobre todo el mantenimiento del sistema hidráulico, eléctrico y de drenaje; así como de equipos (generadores, ascensores, etc.), de espacios con altos índices de humedad y exposición a contaminantes (sanitarios, cocinas y jardines), de elementos constructivos (cubiertas, fachadas, pilares, etc.).

Para cada uno es necesario tener un programa de mantenimiento, con información sobre el funcionamiento de las instalaciones y equipos que componen la edificación, así como de la correcta operación, recomendaciones de fabricantes, indicaciones para el monitoreo y medidas de seguridad. Asimismo, se debe incluir una bitácora que registre las lecturas correspondientes para detectar anomalías y predecir un desperfecto. Según el programa o manual de mantenimiento, los tipos de mantenimiento correctivo se pueden clasificar de la siguiente manera:

Conservación rutinaria

Para tratar anomalías que no han causado daños, pero si persisten es probable que sí. Estos trabajos deben por lo menos realizarse cada año, y comprenden conceptos de tipo limpieza, reposición de señalamientos, desazolve, engrase, lubricación, ajustes de interruptores y válvulas, etc.

Conservación periódica

Para elementos que presentan deterioro o daño sin incidir en la capacidad estructural. Se consideran generalmente como trabajos de reparación, y estos se limitan a recuperar la capacidad original del proyecto, tales como reparación de desconchamiento, calafateo de fisuras, resanes, aplicación de pintura, tratamiento para erosión y corrosión, impermeabilización, etc.

Cuando los trabajos exceden el nivel de complejidad y costos de los casos anteriores, se opta por una reconstrucción, donde existe primeramente una fase de demolición para abrir paso a un nuevo proyecto. Sin embargo, uno de los principios de Economía Circular dicta que el aprovechamiento de recursos debe ir más allá, por lo que se propone una acción intermedia antes de demoler. A esta fase se le conoce como rehabilitación.

4.2.4.1 Rehabilitación

Para ayudar a reducir el consumo de materiales de forma contundente, los edificios deben estar planeados con la flexibilidad para poder modificar su diseño e inclusive su uso al término de su vida útil, si las condiciones estructurales lo permiten, sin tener que derrumbar y volver a construir desde cero toda la estructura, a través de la remodelación, y el uso de elementos que se puedan ensamblar y desensamblar con relativa facilidad. De esta forma podemos asegurar una disminución en la cantidad de RCD en rellenos, vertederos e incineradoras (evitando así también la necesidad de crear nuevos espacios con este

objetivo), así como asegurar el retorno de valor a la cadena al reutilizar, recuperar y reciclar los materiales, creando así un sistema apegado a la EC.

La rehabilitación hace referencia a la conservación de la parte estructural del inmueble, pero modificando el diseño para que pueda servir para otro propósito. O en su debido caso, reforzamiento o sustitución de elementos, si es que la estructura se ve comprometida. Cuando un edificio es rehabilitado para usarlo con el mismo propósito, se conoce como rehabilitación parcial, considerada inclusive como una remodelación, mientras que si cambia su uso, se define como rehabilitación total, respetando únicamente los elementos de carga y portantes que lo constituyen.

Rehabilitación parcial

También conocido como modernización, restauración, o inclusive ampliación, donde se incrementa la capacidad estructural o de servicio del edificio, presentando o no daños. Se caracteriza en su mayoría por no abarcar toda la construcción, sino únicamente una zona o elemento. La mayoría de las veces abarca fachadas y cubiertas, que son los elementos más propensos a deteriorarse por su exposición al ambiente.

Reforzamiento

Debido a las condiciones ambientales y climatológicas, así como de accidentes, la capacidad de diseño se ve comprometida, así como la estructura, por lo que se utilizan elementos anexos que trabajen conjuntamente con los originales para otorgar el nivel de servicio adecuado, tales como la aplicación de presfuerzo externo, ensanchamiento o adición de apoyos y columnas. Este tipo de obras incluyen en su mayoría planos con procedimientos constructivos, catálogo de conceptos y especificaciones particulares.

Sustitución

Cuando un elemento se encuentra en estado avanzado de deterioro, forma parte un conjunto más grande y resulta ineficiente y poco factible reparar o modernizar todo a la vez, por lo cual se procede a sustituirlo sin comprometer al resto. Esto aplica para piezas de maquinarias o equipos, así como de elementos constructivos aislados.

Rehabilitación total

Esta estrategia aplica cuando se piensa cambiar el uso para el que fue concebido el edificio en un inicio, por presentar dificultades más allá de la estructura (entorno, ocupacional, administrativo, etc.), la cual se mantiene entera y puede utilizarse para otro fin. Por ejemplo, un edificio que era de uso residencial, puede pasar a ser un almacén si existiera un problema de base con los servicios. El utilizar materiales desmontables implica múltiples ventajas durante esta etapa, ya que se optimizan los tiempos de desmantelación y colocación de materiales, los cuales son altamente reusables, permitiendo reutilizar al menos 30% de los elementos no estructurales (muros, pisos, techos y acabados) para proyectos futuros, especialmente si se llevan a cabo en el mismo edificio.

4.3. Herramientas de apoyo para la aplicación de EC

Todas las ideas que hemos explicado anteriormente pueden parecer muy sencillas en la teoría pero muy idealistas para poder llevarlas a la práctica. Se requiere de un compromiso muy grande de parte de la empresa que va a llevar a cabo el desarrollo de la infraestructura para estar dispuesto a ir más allá de lo tradicional y buscar aplicar los principios de la economía circular en cada etapa del proceso.

Este compromiso se puede dividir en dos, una parte técnica y la otra, algo más subjetiva, en la ética. La primera se refiere a que los agentes que participan en el cambio van a tener que pasar por varias capacitaciones para aprender a usar nuevas herramientas de software, entender y también idear otras metodologías de cálculo que permitan gestionar eficientemente los recursos mientras toman en cuenta indicadores ambientales y sociales, así como ayuda a transicionar de los criterios tradicionales de diseño a una nueva normatividad que es mucho más inflexible en temas de contaminación y residuos. Y la parte más desafiante es que debe surgir de manera voluntaria.

Es aquí donde entra la segunda parte del compromiso, el saber que lo que se está haciendo no es obligatorio, pero se elige hacerlo por el bien de una generación futura, y por la preservación y respeto al derecho a vivir en un ambiente saludable no sólo del ser humano, sino de todos los seres vivos en el mundo. Es muy cómodo elegir el camino más sencillo, sin preocuparnos de las consecuencias que puedan traer a otros; el verdadero reto es ser consciente y salir de la zona de confort para hacer lo que es correcto y beneficioso para todos los miembros de la sociedad.

Si bien estas acciones no son obligatorias, eso no significa que pasen desapercibidas. La implementación de ellas es altamente reconocida por algunas de las certificaciones de infraestructura más importantes en el mundo, de las cuales se habla en este apartado. Estas establecen sus propios criterios y sistemas de puntaje que buscan promover una construcción más sustentable, y que valoran todo el esfuerzo (económico, humano y técnico) que viene detrás de lograrlo.

Estas tres herramientas: las metodologías de gestión, la ética, y las certificaciones son los pilares en los que se va a fundamentar el primer ladrillo hacia una economía circular. Son aquellos elementos que van a lograr transformar a la industria a través de la promoción de este modelo tanto interna (en los empleados, modificando los valores de la empresa, y la forma que tiene esta de hacer las cosas) como externamente (con los clientes, el gobierno, y ante otras empresas).

4.3.1 Metodologías de Gestión

Las Metodologías de Gestión (MG a partir de ahora) se definen como un conjunto de técnicas y procedimientos que utiliza una empresa y tienen como objetivo gestionar con el mismo formato cualquier tipo de proyecto, así como lograr una gestión eficiente de los recursos económicos y humanos. Contar con una MG en una empresa es evidencia para los

clientes de que su trabajo es de calidad, lo que abre las puertas a más opciones de financiación, así como facilitan y eficientan el proceso de auditorías.

Casi nueve de cada diez proyectos de gran escala son entregados con retraso en México (según un estudio avalado por Zigurat Institute of Technology). Este siempre ha sido un problema en la industria de la construcción, y se duplicó tras la pandemia. Se debe a tres factores principalmente: planificación deficiente, programación poco realista, y escasez de recursos y mano de obra calificada. Todos estos pueden ser solucionados a través de utilizar las herramientas de MG, ya que hacen más fácil el cumplimiento de entregables al establecer plazos para estos, y por otro lado también son muy útiles para apegarse al presupuesto inicial, ya que en los programas de software se tienen que detallar cada una de las etapas del proceso constructivo, con sus respectivos insumos y costos.

Gracias a esta reducción de tiempo se aminoran los recursos, lo que genera una disminución de los residuos y contaminación provocada por la etapa constructiva. Por otra parte, estas MG también contribuyen al diseño de una edificación más sostenible, ya que permite simular diferentes escenarios de eficiencia energética, impacto ambiental, entre otros. Son un gran aliado cuando se busca obtener alguna certificación ambiental (de las cuales se hablará más adelante), las cuales basan la mayoría de sus criterios de evaluación en los principios de la EC.

Lean Construction

El Lean Construction es una metodología de gestión de proyectos constructivos que fomenta la producción con el mínimo de pérdidas o desperdicios. Estos desperdicios pueden ser medidos en cantidad de materiales, tiempo, dinero o esfuerzos. Su eficiencia se logra a través de la eliminación de procesos o actividades que no aportan ningún valor al producto final (en este caso, la infraestructura que se está desarrollando), así como aquellos que generan interrupciones o demoras en el programa de obra.

Han existido tres grandes sistemas de producción a lo largo de la historia. El primero, el Artesanal, era popular incluso antes de que sucediera la primera Revolución Industrial, y se caracterizaba porque la manufactura dependía completamente del capital humano, por lo que era tardado, costoso, y la calidad del producto dependía de la habilidad del artesano. Después de la Revolución, la producción en masa arrasó con el mercado industrial, y al incluir a las máquinas en el proceso, se producía más en menos tiempo, y todos los productos tenían relativamente la misma calidad.

Lean se basa en un nuevo sistema, el llamado producción ajustada, el cual busca eficientar el tiempo y los recursos que se utilizan para elaborar un producto de mayor calidad al menor coste, pero con el mayor valor agregado. El primer antecedente documentado de Lean es el Sistema de Producción Toyota (SPT), creado en 1992, que a su vez se apoya en los pilares del Just in Time, un sistema de producción que fabrica y entrega justo lo que se necesita, en la cantidad necesaria y solamente cuando se necesita; y el Jidoka, un término japonés que significa proveer a las máquinas y los procesos de la capacidad para identificar condiciones anormales y detener así la línea de producción cuando esto ocurra. Toyota comenzó a basar

la fabricación de sus autos en estos principios debido a que constantemente tenían problemas de exceso de inventario.

Si se compara con otras industrias, la construcción ha ido implementando Lean a una velocidad considerablemente más lenta, y la causa más aceptada es debido a que todavía hoy se necesita de una gran fuerza laboral, puesto que la mayoría de sus procesos se ejecutan manualmente.

Lean es una herramienta muy útil para crear un flujo continuo de valor, ya que incentiva a los fabricantes (en este caso, los arquitectos e ingenieros que están a cargo) a considerar todo el ciclo de vida de la edificación y el cómo se pueden optimizar los recursos en cada una de las etapas que lo componen. Es necesario considerar a todas las partes involucradas, desde los proveedores hasta los usuarios finales.

Su principal función es la identificación de desperdicios, y en la construcción estos generan pérdidas de valor considerables. Una parte de estos está oculta y es difícil de percibir. Otra parte de su filosofía se basa en hacer más eficientes a los flujos de valor, evitando los cuellos de botella y las interrupciones. En esta industria esto pasa sobre todo por retrasos en la llegada de material, el tiempo de espera para obtener o corregir una especificación técnica, o inclusive falta de algún tipo de planos.

Se han logrado identificar 6 áreas o rubros en la construcción donde se da la mayor cantidad de desperdicio, no solamente de recursos materiales sino también económicos, y de tiempo: el transporte innecesario, las esperas o retrasos, movimientos innecesarios (tanto en la maniobra de vehículos como para almacenar los materiales), los fallos en la calidad de los materiales, el sobreprocesamiento, y el no eficientar el uso de la mano de obra. Los resultados de eliminar los factores que complican estos procesos son un mayor control de los procesos, menor estrés, menos desperdicio de tiempo, y a su vez esto hará que los empleados vayan cambiando poco a poco su comportamiento hacia el nuevo sistema.

La metodología Lean no es solamente una herramienta o un sistema de producción, sino que se trata más bien de una cultura, una forma de pensar y hacer negocios, ya que toda la empresa se tiene que involucrar, las áreas de producción, de soporte, financieras, logística, etc., en todos los niveles jerárquicos, incluyendo a la cadena de suministro, proveedores, subcontratistas y socios.

La razón principal por la que no sería eficiente implementar Lean en una sola área en lugar de toda la empresa es porque este sistema de producción se basa en el concepto "Pull", donde las operaciones que ocurren "aguas abajo" deben lograr una buena comunicación con las de "aguas arriba", para darles a entender sus necesidades y evitar la sobreproducción que invariablemente llevará a un exceso de inventario. Recordemos que las personas involucradas en el proceso de fabricación son las que van a poder identificar más fácilmente las restricciones, desperdicios y cuellos de botella. La finalidad de Lean, más allá de solucionar problemas, es prevenirlos antes de que aparezcan.

Para que esta transición ocurra de forma más eficaz, se necesita contar con el perfil de un profesional que asuma el liderazgo de la implementación del sistema Lean, cuyas responsabilidades incluyen el promover el trabajo en equipo, estudiar las bases de la filosofía que se desea replicar y encontrar las áreas de oportunidad de mejora en la empresa y en la propia metodología. Además, deberá tener la capacidad de adaptarse a los cambios, reconocer cuando se ha cometido un error y no tener miedo de darlo a conocer, sino que debe lograr que los demás colaboradores vean esta experiencia como una oportunidad de aprender y mejorar.

Hay un factor que puede ser tomado ya sea como una ventaja o como una barrera, y es que cada empresa debe desarrollar su propia metodología Lean, y se puede apoyar en el ejemplo de otras pero no debe copiarlos, ya que cada empresa, aunque se dediquen a lo mismo, tiene necesidades, capacidades y alcances diferentes. Si bien esto significa más trabajo ya que no se tiene una fórmula universal, le da la flexibilidad a cada organización de adaptar esta forma de trabajo a la suya, lo que significa que cualquier empresa, por muy grande o pequeña que sea, y sin que importe el sector en el que participa, puede implementar exitosamente el Lean Construction.

En general, se ha visto que existen algunas acciones que hacen más factible una implantación exitosa de Lean en la construcción: dar formaciones al equipo directivo, así como capacitaciones técnicas al personal operativo de la empresa; redactar un plan estratégico con los pasos a seguir para lograr la implantación, este debe ser a largo plazo y personalizado para cada empresa; una vez hecho esto, se puede empezar por utilizar Lean en un proyecto piloto, con la ayuda de un profesional que facilite el proceso y lo vaya adaptando según las necesidades que se van presentando, y por último buscar, estudiar y aprender a utilizar las herramientas tecnológicas que faciliten la documentación y se adapten a los requerimientos del proyecto y posteriormente de la empresa.

Una de las limitantes es que, como todas las nuevas metodologías, requieren de un nivel considerable de herramientas tecnológicas. Desafortunadamente, la construcción es una de las industrias más atrasadas en la adopción de nuevas tecnologías. Muchas veces la experiencia de los profesionales en el área puede jugar en contra de la adopción de nuevas prácticas, ya que si bien el tener los conocimientos de lo que se ha hecho en años pasados es muy útil y necesario, la experiencia en sí no es suficiente para lograr su implementación.

Otras de las razones por las cuales las empresas han fallado en implementar este sistema son la falta de disciplina, liderazgo y perseverancia. Muchas empresas esperan que Lean venga como una receta lista para solamente prepararse, cuando la realidad es que es un proceso que se debe seguir reforzando todos los días y en cada una de las áreas de la empresa, no sólo para un proyecto en específico.

La filosofía de Lean se basa, en esencia, en hacer más con menos, o dicho de otra manera, a obtener el valor máximo utilizando la menor cantidad de recursos posibles. Si esta idea se aplica adecuadamente, es posible evitar una gran cantidad de desperdicios que inevitablemente terminaría siendo residuos. Esto significa que comparte dos de los tres principios de la EC.

El panorama de la implementación del Lean Construction en México todavía es bastante incierto, sin embargo, cada vez se ven más países que buscan dominar esta metodología. Por ejemplo, en el área metropolitana de la ciudad de Barcelona, España, para poder competir en licitaciones y adjudicaciones de algunos proyectos de construcción, ya sean estos públicos o privados, ya les exigen a las empresas contar con una metodología de gestión, como lo son Lean y BIM.

Lean no se creó por la necesidad de hacer a las industrias más sustentables, sino evitar la sobreproducción y las pérdidas económicas. Sin embargo, se ha ido transformando con el paso de los años y ahora tiene un enfoque mucho más aplicable en temas medioambientales. Todo dependerá de la industria y la empresa en la que se implemente, ya que, como se mencionó anteriormente, no hay una fórmula mágica para hacerlo de forma exitosa, sino que se va aprendiendo en el camino y se va modificando según las necesidades específicas de la organización interesada.

Metodología BIM

Sus siglas significan “Building Information Modeling”, lo que se puede traducir como Modelado con Información para la Construcción. Es un conjunto de metodologías de trabajo y herramientas caracterizado por el uso de información de forma coordinada, computable y continua (Rueda, 2018). BIM no es solamente un conjunto de software, sino una forma innovadora de abordar el proceso de planificación, que busca conocer a fondo el objetivo del proyecto, su etapa de vida, y cómo hacerlo más eficiente, rentable y sostenible.

Son varias las personas y países que han contribuido a su conceptualización, dentro de los cuales destacan Estados Unidos, Europa central y del norte, así como Japón. El término se empieza a usar en 1975, 5 años después se empieza con el modelado paramétrico, pero no es hasta el año 2000 que ArchiCAD desarrolla Revit, que revolucionó por completo a BIM con su programación orientada a objetos.

Si bien BIM se originó parcialmente desde el diseño CAD, su principal atractivo es que aquí los objetos no son conjuntos de líneas que forman dibujos, sino que se le pueden dar todas las características de un objeto real (masa, dimensión, textura), y es en base a eso como va a interactuar con los demás objetos. Por ejemplo, el programa es capaz de calcular y proyectar correctamente las sombras generadas por los rayos de sol sobre un muro a través de las diferentes horas del día.

No existe un único software para utilizar BIM, lo que permite elegir el que más se adapte a las necesidades del modelo, pero lo que sí hay que considerar es la interoperabilidad entre estos, así como tener en cuenta los equipos y la red que se necesitan para soportarlos. Los más completos, según características como la integración de costos, simulaciones, administración de obra, sección de mantenimiento y operación, así como nivel de detallamiento de los materiales son: BIM 360, Project Wise, Trimble Connect.

Esta es solamente su parte técnica. Pero lo que interesa en este trabajo es la forma en la que se relaciona con la EC, y es que al tener una mucho mejor gestión del proyecto se

puede lograr la máxima eficiencia de este, tanto en lo económico como ambiental. Por ejemplo, todos los materiales quedan registrados con fichas técnicas y vida útil, lo que facilita la reutilización y reciclaje. Además, BIM es justamente una forma de representar lo que sería un ACV para edificios, ya que se basa en la idea de que una edificación se debe poder seguir estudiando y mejorando durante toda su vida útil, por lo que es aplicable desde la planificación hasta la demolición.

La metodología como tal consta de 7 dimensiones, cada una con sus objetivos particulares:

1. **Idea:** se establecen las condiciones iniciales, localización, y diseño conceptual.
2. **Boceto:** planos en 2D, y las primeras estimaciones. Se integran las medidas de mitigación ambiental, así como se definen las cargas estructurales y cimentaciones.
3. **Generación del modelo 3D:** es la base de donde van a empezar a surgir dudas y problemas a solucionar. Todos los agentes deben reunirse y discutir sus propuestas.
4. **Cronograma del proyecto:** se pretende corregir los errores en el modelo virtual antes de que se presenten en el real. Algunos softwares cuentan con herramientas de optimización de las metodologías constructivas para reducir tiempo y maximizar los recursos, lo que a su vez presenta una mejora ambiental.
5. **Integración de costos:** Se asignan las cantidades de materiales para análisis de precios unitarios, y estimaciones que buscan mejorar la rentabilidad del proyecto. Se planean los gastos de construcción, operativos y de mantenimiento.
6. **Simulaciones:** Principalmente del rendimiento energético e hídrico, sustentabilidad y diseño medioambiental. También se le conoce como GreenBIM, y es la de mayor importancia en la búsqueda de la certificaciones ambientales, ya que es cuando se debe poner el mayor esfuerzo en generar estrategias para producir el menor impacto ambiental posible durante toda la vida útil del edificio.
7. **Control logístico y operacional:** Se prepara una especie de manual de instrucciones que permitirá a los futuros responsables gestionar mejor el ciclo de vida del proyecto, para la operación, próximas reparaciones, remodelaciones, mantenimiento e inclusive la demolición.

BIM presenta muchas ventajas aplicables para cualquier tipo de obra, desde el ámbito de generar una comunicación fluida entre agentes y también con el cliente; la identificación de los problemas que pueden surgir durante la obra y corregirlos desde antes; la forma en la que genera documentación homogeneizada y siempre actualizada sobre todo lo relacionado al proyecto, como puede ser información del terreno, especificación de materiales y equipos, permisos, planos, entre otros.

Es precisamente por esta enorme ventaja de poder seguir la obra en cada paso, haciendo del conocimiento de todos cualquier cambio, que se puede mejorar la toma de decisiones para la solución de problemas. Esto es de especial importancia para nuestro tema de estudio, ya que es muy común que en la planificación se tenga una idea poco realista de los impactos ambientales que se van a generar durante el proyecto. Esto no sería un problema con esta metodología, ya que se pueden analizar varios escenarios y plantear los imprevistos y situaciones que se podrían presentar y medidas para contrarrestarlas.

Otras de sus grandes ventajas es la posibilidad que ofrece de trabajar remotamente, pudiendo participar en un proyecto inclusive desde el otro lado del mundo, en tiempo real. Esto abre oportunidades infinitas e inimaginables para colaborar entre países y generar una base de datos global, que permita el estudio de las soluciones a problemas en proyectos elaborados en otras ciudades de circunstancias similares. Para el ámbito medioambiental esto sería un parteaguas, ya que se pueden adaptar las estrategias de mitigación o compartir ideas sobre cómo generar construcciones más sustentables de una forma mucho más gráfica y fácil de entender. Se presta a crear foros internacionales y convenciones donde se presenten los avances en sustentabilidad más recientes, que todos pueden ver y manipular desde sus computadoras. O utilizar como casos de estudio en las universidades.

Adicional a esto, y para beneficio de los ingenieros y arquitectos, disminuye las tareas redundantes, y permite la automatización de procesos, como la importación de datos. Por último, pero no menos importante, es una gran estrategia de marketing. Los accionistas estarán más interesados en la parte externa del proyecto más que en la técnica, y con esta metodología es posible presentarles un modelo digital que es copia fiel de lo que se va a construir. La tecnología ha estado avanzando a una velocidad tan impresionante en las últimas dos décadas que no sería nada irreal pensar que un día no muy lejano podremos inclusive hacer la experiencia más inmersiva, con el uso de la realidad aumentada.

Aunque esta metodología pueda sonar como la solución a muchos de los problemas más recurrentes en la construcción, lo cierto es que también tiene algunas limitantes, especialmente hablando de su implementación en México. Empezando por el costo que le representa a una empresa el comenzar a utilizarla, desde la renovación de equipos y red que soporten los softwares, hasta los asociados con la capacitación de sus empleados. Según la Encuesta BIM América Latina y el Caribe realizada en 2020, el 57% de las empresas que aplican BIM en el país tienen menos de 3 años de experiencia, y menos del 25% tiene 5 años o más.

Además de los recursos económicos, superar la curva de aprendizaje para lograr utilizar BIM toma tiempo. No solamente para familiarizarse con la parte técnica del software, que ya por sí sola representa un cambio radical en los métodos tradicionales, puesto que en lugar de *dibujar* objetos estos se *manipulan*. Pero el verdadero reto es el de asimilar la filosofía detrás de esta metodología: el trabajar ordenadamente, siguiendo formatos iguales para cada proyecto, pero sobre todo la completa transparencia que exige BIM, algo de lo que carecen muchos proyectos en México.

Una propuesta de estrategia para superar estas barreras es la formación sobre esta metodología en las universidades públicas del país (que son las que albergan la mayor densidad de estudiantes). Muchos egresados no tienen idea de qué trata BIM hasta que llegan a un ámbito laboral que lo exige. Y esto va de la mano con la siguiente propuesta: la institucionalización y creación de normatividad para el uso de la metodología. Actualmente son pocos los países cuyos gobiernos han hecho esto: Reino Unido, Holanda, España y Finlandia. Este último fue el primero en donde el gobierno institucionalizó y exigió el uso de esta metodología en los proyectos de construcción.

El uso de la metodología BIM en los proyectos de infraestructura ayuda a mejorar la colaboración, planificación, productividad, seguridad y transparencia en estos. La clave está en la integración de un equipo proactivo que busque siempre la forma de seguir mejorando la metodología, y en el proceso encontrarán la manera de hacer una construcción más rentable, sustentable e innovadora.

Project Management Body Of Knowledge

Sus siglas son PMBOK, y es una guía que describe normas, métodos, procesos y prácticas establecidas para la administración profesional de proyectos. Una de sus principales características es que es actualizada cada cierto tiempo por profesionales que voluntariamente deciden compartir sus conocimientos y experiencias para crear esta serie de recomendaciones que pueden ser aplicables a distintas industrias.

Su historia inicia con la creación del Project Management Institute (PMI) en 1969, cuyo principal objetivo es documentar y estandarizar la información y prácticas aceptadas en la gestión de proyectos. Es por estos esfuerzos de homogeneizar que surge la primera edición del PMBOK, en 1996, posteriormente publican la segunda en el 2000, las siguientes en 2004, 2008, 2013, 2017 y la más reciente, la séptima edición fue publicada en el año 2020.

Como casi todas las metodologías, esta no es exclusiva de la construcción, sino que puede ser aplicada a cualquier industria que desee implementar la gestión de proyectos. Debido a que considera todo el ciclo de vida de un producto, en la edificación su aplicación es desde la fase de diseño y planificación hasta la demolición. Esta MG también se centra en tener una mejor gestión del tiempo y los recursos que consume un proyecto, con lo cual se reducirían los impactos ambientales generados por este.

Actualmente el PMBOK se divide en 5 macroprocesos que integran a los 47 procesos estándares que intervienen en cualquier tipo de proyecto. En el caso de la edificación:

1. Inicio: Es la parte donde se definen los conceptos generales (localización, uso del inmueble, primeros bocetos), e incluye la etapa en donde se van a obtener los permisos y licencias de construcción necesarias.
2. Planificación: Aquí se establecen los objetivos ambientales, económicos y de eficiencia a los cuales se quieren llegar, así como se proponen estrategias para eso.
3. Ejecución: La parte de la construcción per se.
4. Control y monitorización: Es la fase operativa del inmueble, donde se sigue supervisando que se mantengan el desempeño deseado.
5. Cierre: Se refiere a la demolición o cualquier otro proceso que se vaya a seguir al final de la vida útil del edificio, ya que aunque este no sea destruido en su totalidad, al cambiar el alcance y objetivo del edificio se debe modificar también la forma en la que se gestiona.

El PMBOK establece que en cada uno de estos macroprocesos es necesario aplicar nueve áreas del conocimiento que son indispensables para lograr un resultado satisfactorio en todos los sentidos: la definición de procesos y actividades a seguir, establecer el alcance del

proyecto, gestionar eficazmente el tiempo, control de costos y presupuesto, desarrollar un equipo de trabajo, lograr una recopilación eficiente de la información, implementar un sistema de gestión de calidad y mejora continua, prever y disminuir los impactos de los eventos negativos, y finalmente tener claridad de las adquisiciones necesarias.

En relación a la EC, la aportación del PMBOK es la gerencia de proyectos sustentables, que se define como “la planificación, seguimiento y control de los procesos de entrega y apoyo del proyecto, teniendo en cuenta los aspectos ambientales, económicos y sociales del ciclo de vida de los recursos, procesos, entregables y efectos del proyecto, destinados a obtener beneficios para los interesados, y se realizan de manera transparente, justa y ética incluyendo la participación proactiva de los interesados (Silvius & Schipper, 2014).

Una de sus principales ventajas es que al ser actualizado por profesionales de la industria, implica que las sugerencias que de las que se compone la guía se van poniendo al día con las innovaciones tecnológicas del año. Por ejemplo, en la primera edición era imposible hablar sobre equipos virtuales de trabajo, pero en la versión más reciente se mencionan y se hacen recomendaciones al respecto.

Entre 2004 y 2008 se publicaban entre 1 y 5 artículos que relacionaban a la sustentabilidad con proyectos de inversión, mientras que de 2009 a 2015 aumentaron a entre 5 y 10 (Aarseth et al, 2017). Actualmente este libro ya cuenta con una sección dedicada a sugerencias para una gestión ambiental, y al ser un trabajo “voluntario”, podemos esperar ver cada vez más contenido sobre este tema en las próximas ediciones.

Algunos de los temas que ya se mencionan en esta séptima edición de la guía son la necesidad de incluir los *Análisis de Ciclo de Vida* y a las *Evaluaciones de Impacto Ambiental* para lograr una *Producción más Limpia*. También se proponen criterios para el ecodiseño de los productos, y la elaboración de un Plan de Manejo Ambiental, basándose en las Evaluaciones de Riesgo y las Simulaciones Ambientales.

Algunas de las actividades propuestas de Gestión de Proyectos donde se puede integrar a la sustentabilidad, basándonos en los macroprocesos descritos en el PMBOK son:

1. Inicio: Desarrollar un acta de constitución del proyecto sustentable e identificar a los interesados con conocimientos en medioambientales.
2. Planeación: Definir el alcance sustentable, desarrollar el cronograma de revisiones de los objetivos ambientales, con pleno conocimiento de los riesgos y las adquisiciones necesarias. Se requiere el involucramiento de las partes interesadas.
3. Ejecución: Lo más importante es dirigir y gestionar el trabajo del proyecto de acuerdo a los objetivos ambientales establecidos.
4. Monitoreo y control: Controlar la entradas y salida de recursos en una base de datos e identificar las variaciones que sucedan. Indispensable tener un Sistema de Gestión de Calidad para tener un adecuado manejo de la documentación.
5. Cierre: Elaborar un reporte de si se alcanzaron los objetivos medioambientales establecidos, reportar las estrategias utilizadas.

Esta última parte representa el alma de lo que representa el PMBOK, ya que justamente busca fomentar el compartir las buenas prácticas aplicadas en proyectos con todos los profesionales de la industria para que así se puedan replicar o al menos adaptar ciertas estrategias. Esta es la característica de mayor relevancia para la EC, ya que esto estimula la comunicación entre agentes y la hace mucho más dinámica. Actualmente esta guía la utilizan como base en varias organizaciones, como lo son Deloitte y el Departamento de Energía de Estados Unidos.

Algunas de las limitantes que se pueden encontrar en esta metodología es que precisamente, al ser una guía, se trata de un compendio de herramientas y recomendaciones, más no es de carácter obligatorio, lo cual significa que no se deben tomar a estas al pie de la letra, y es necesario que el encargado tenga cierto criterio para poder tomar lo que es aplicable al proyecto que se está llevando a cabo.

El problema con esto es que para tener ese criterio, se requiere de experiencia y también de formación. En esta investigación nos dimos cuenta de que en realidad hay muy poca información actualizada sobre esta metodología, al menos comparado con lo que se puede encontrar sobre BIM. Esto se puede empezar a superar si, al igual que con la metodología anterior, se imparte más información al respecto en las universidades y se incentiva a los alumnos a estudiarla, crear trabajos de investigación, y revisar casos prácticos.

Las dos desventajas que encontramos sobre el PMBOK es que, para que se pueda aprovechar correctamente es necesario que en la empresa estén muy bien definidos los roles y las responsabilidades. En México desafortunadamente se da mucho el caso de que una misma persona cumple las funciones de varias, y por lo mismo es más complejo que pueda centrarse en documentar todas sus actividades.

Al mismo tiempo, en general en el país no existe mucho la cultura de documentar todo lo que se hace, y armar una base con toda la información acerca de cómo se realizan todos los procesos para posteriormente poder evaluar su funcionalidad, sostenibilidad y eficiencia es la clave para lograr una gestión exitosa.

4.3.2 Certificaciones para la construcción sustentable

Las certificaciones son otro tipo de herramienta que promueve a la EC ya que los criterios que evalúan están estrechamente relacionados con los principios de este modelo, especialmente en la reutilización y disminución de desechos. Además de que juegan un papel sumamente importante en su implementación, ya que al no ser obligatorias, promueven que sean las propias empresas quienes voluntariamente decidan hacer sus proyectos más sustentables, y por lo tanto busquen activamente soluciones para esto.

Además de la disminución del impacto ambiental, al cumplir con los criterios de evaluación se va a lograr mejorar la calidad de vida de los usuarios, puesto que algunas de estas certificaciones enfatizan la importancia de ofrecer una buena calidad de aire interior, aprovechar al máximo la luz natural y brindar la mayor cantidad de espacios verdes posible.

Una ventaja de estas es que las certificaciones evalúan ya sea desde la parte constructiva (y en caso de cumplir con los requisitos se obtiene el puntaje más alto), o desde la parte operativa. Esto es muy conveniente ya que incita a las empresas a trabajar bajo sus criterios desde las etapas de planificación (alcanzando así mayores beneficios) pero también permite a los edificios que ya estaban contruídos antes de que existiera la certificación, obtenerla.

Para las empresas y dueños de las edificaciones es muy conveniente también, ya que sí se ha probado una disminución en los costos constructivos y operativos al ahorrar en energía, agua y mantenimiento, lo que las hace más rentables a largo plazo. Según el Consejo Mundial de Edificación Verde (WGBC), los edificios sustentables ahorran 40% en consumo de agua, reducen hasta 30% el uso de energía y la emisión de gases, y de 50% a 75% los desechos generados por construcción y demolición.

Aunado a esto, aumenta el precio de reventa, ya que los compradores están dispuestos a pagar más por edificios que hayan probado ser más sustentables y eficientes. Es por esto que podemos afirmar que las certificaciones son una forma de mejorar la imagen corporativa tanto con sus clientes como con sus propios empleados, que valoran a las empresas comprometidas con la sustentabilidad y desean ser parte de ese proceso.

Existen varios tipos de certificaciones alrededor del mundo, pero en este apartado se describen a profundidad las tres que tienen mayor relevancia en México, y validez internacional: LEED, WELL y BREEAM, y de forma más breve se mencionan algunas más que se ve tendrán un mayor alcance en el futuro. No es que ninguna sea mejor que las demás, sino que cada proyecto deberá decidir cuál es la que más le conviene perseguir de acuerdo a sus criterios de evaluación y su relevancia a nivel internacional.

LEED

Leadership in Energy and Environmental Design, traducido en español como Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental, es un sistema de certificación internacional voluntario, traducido al español como Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental. Fue desarrollado por el United States Green Building Council (USGBC) en 1998, el cual a su vez fue fundado en 1993 con David Gottfried como presidente, con el objetivo de crear un método de evaluación de edificios verdes, estudiando su eficiencia energética y la sostenibilidad relacionada al diseño.

Desde que surgió la primera versión de LEED, 19 proyectos piloto iniciaron su proceso de certificación, 10 años después ya existían 5,000 proyectos con la certificación, y actualmente existen cerca de 92,000 proyectos en 165 países⁴⁶, lo que la convierte en referencia mundial, ya que es utilizada por un mayor número de regiones que cualquier otra. Al día de hoy, en su página web están disponibles las 165,287 certificaciones que han otorgado, incluyendo las re-certificaciones, ya que LEED tiene una vigencia de 5 años antes de necesitar renovarse.

⁴⁶ Dato según el Green Business Certification Inc México.

En México, la certificación LEED se otorga por medio de GBCI México (Green Business Certification Inc.), la cual es una organización fundada en 2008 por USGBC con también sede en países como China, Emiratos Árabes Unidos, India, y a lo largo de Europa; la cual provee el servicio de supervisión no sólo de certificación LEED para proyectos, sino para las credenciales profesionales, que reconocen a expertos en áreas de sostenibilidad y los acreditan para cumplir con los trabajos que cualquier asociado LEED deba manejar.

GBCI ofrece además de LEED, certificaciones y programas como: EDGE, WELL, PEER, TRUE, SITES, GRESB, Sustainability Excellence y Parksmart; donde SUME (Sustentabilidad para México) y el Consejo de Construcción Ecológica México tienen una participación continua, todo para formar entornos más ecológicos y saludables para los involucrados.

LEED puede certificar a diversos edificios, debido a que cuenta con una clasificación de los mismos según el tipo y su fase construcción (ciclo de vida), tales como:

- **BD+C Building Design and Construction:** Hace referencia a obras que se encuentran en la etapa inicial de su construcción, o que están pasando por una importante renovación. Estos pueden ser hospitales, escuelas, oficinas, almacenes, hoteles, etc.
- **O+M Operation and Maintenance:** Aplica para edificios existentes, donde la renovación no es tan exhaustiva como en el caso anterior, sino que son cambios de mejora con poca o nula construcción para aprovechar de mejor manera los recursos.
- **ID+C Interior Design and Construction:** Para proyectos de acondicionamiento de interior, particularmente aplicable a hoteles y comercios, donde no se toma en cuenta todas las operaciones del edificio como en la certificación O+M.
- **ND Neighborhood Development:** Para proyectos de urbanización o reurbanización vecinal, tanto residencial como comercial. Aplica las etapas de planificación y diseño hasta su construcción o rehabilitación.
- **Homes:** Para viviendas uni o multifamiliares de hasta seis pisos, donde las casas a partir de cuatro niveles puedan conseguir la certificación LEED BD+C.
- **Cities:** Aplicable a ciudades enteras o comunidades, en construcción o existentes, que puedan registrar su consumo de energía y agua, producción de residuos, capacidad de transporte, calidad de vida, etc. Se consideran también como comunidades a las universidades, bases militares, zonas de desarrollo económico, etc. Como ejemplo, la ciudad de San Pedro Garza García en el estado de Nuevo León, cuenta con esta certificación.

Para hacerse acreedor a la certificación LEED, el proyecto debe cumplir un sistema de evaluación basado en prerequisites y un puntaje de créditos, donde dependiendo de este, se obtiene el nivel de certificación LEED. Según la última versión LEED v4.1, estas son: Certificado (40-49 puntos), Plata (50-59 puntos), Oro (60-79 puntos), Platino (80 puntos o más).

La escala es de hasta 100 puntos, donde las categorías que se evalúan son: sitios sustentables (4), uso eficiente de agua (15), energía y atmósfera (35), materiales y recursos (9), calidad del ambiente interior (22), localización y transporte (14), e innovación (1).

Acumulando el total de puntos de cada categoría, se obtiene el nivel de certificación LEED, donde es posible tener 10 puntos extra en la categoría de innovación, ya que el USGBC premia las propuestas de solución que vayan de la mano con los objetivos sostenibles LEED.

Del 100% de créditos que toma en cuenta la certificación, 35% está enfocado en el cambio climático, 20% en la salud humana, 15% en recursos hídricos, 10% biodiversidad, 10% en economía, 5% en la comunidad y el 5% restante en los recursos naturales.⁴⁷ Un estudio de la Universidad de California en Berkeley en 2014 calculó que los edificios LEED con certificación O+M llegan a reducir sus emisiones GEI en un 50% por el uso del agua, 48% por residuos sólidos y 5% por transporte asociado.

Según el USGBC, LEED busca cumplir los objetivos ODS (Objetivos de Desarrollo Sostenible) y ESG (Environmental, Social and Governance, por sus siglas en inglés). Los primeros son objetivos establecidos por la ONU para garantizar la prosperidad de la población y proteger al planeta en el proceso para el año 2030, consta de 17 objetivos, de los cuales LEED promueve 11 de ellos, reduciendo la contaminación, creando empleo y mejorando la salud a través de sus prácticas de construcción sostenibles.

Por su parte, los criterios ESG son factores más centrados en la inversión, que consideran impactos de índole ambiental, social y político; evalúa variables y define la rentabilidad económica y los riesgos futuros. Finalmente, demuestra que la optimización de los diferentes sistemas que componen un edificio, así como su relación con su alrededor y sus habitantes, tiene beneficios tanto ambientales como económicos, ya que elimina los desperdicios y logra tener una menor devaluación de los inmuebles por la inversión en sostenibilidad, generando mayor competitividad en el mercado.

Así es como LEED se ve directamente relacionado con los principios de la EC, apoyando estrategias sostenibles e incluso considerando impactos del ciclo de vida tanto de los materiales de construcción como del edificio en su totalidad.

WELL

El sistema de certificación WELL Building Standard está basado en la medición del desempeño de un edificio, evaluando en mayor medida el impacto en la salud y propiciar el bienestar humano en estos espacios, considerando su: comportamiento, operación y diseño.

Su origen no data de tantos años, en el 2013 la compañía estadounidense Delos Living LLC fundó el International WELL Building Institute (IWBI), el cual finalmente desarrolló la certificación WELL, es administrada por el GBCI, así como muchas otras certificaciones, tal como se habló en el apartado dirigido a LEED.

En España y Latinoamérica, la Fundación Instituto Tecnológico de Galicia (ITG) es la institución responsable de vigilar, cumplir y aplicar la certificación desde su creación. A pesar de que se constituyó en 1991 como una fundación sin fines de lucro, es reconocido en España como el primer Market Partner oficial del IWBI. Hoy en día, existen poco más de

⁴⁷Datos obtenidos de LEED Project profiles. (s.f.). Obtenido de la Usgbc

26,000 proyectos certificados y calificados, según la página web del IWBI, en un total de 127 países.

Esta certificación, a diferencia de LEED, busca primordialmente proteger la salud de los ocupantes de la edificación, teniendo un sistema de evaluación orientado a estudiar más a fondo el confort térmico, acústico, la calidad del aire, etc. Todo esto debido a que la mayor parte de la población pasa el 90% del tiempo en espacios cerrados, lo cual se quiera o no, tiene un impacto progresivo en la salud y productividad. WELL busca ser una herramienta para construir espacios que ofrezcan una mejora en nuestra salud, a través de intervenciones en el diseño y de políticas operativas que fomenten la cultura de bienestar.

WELL consta de precondiciones y optimizaciones, las primeras de carácter obligatorio y las segundas para tener un puntaje de créditos, las cuales están repartidas en 7 ó 10 conceptos o categorías a evaluar, dependiendo de la versión de la certificación WELL, actualmente hay tres:

- WELL v1: Consta de 7 conceptos como Aire (17), Agua (3), Nutrición (7), Iluminación (7), Bienestar Físico (6), Confort (7), y Mente (12). Estos dan un total de 59 puntos, que, sumándole las 41 precondiciones, queda un total de 100 puntos. Existen tres niveles de certificación WELL para esta versión: Plata (cumpliendo todas las precondiciones, sin necesariamente tener algún puntaje extra de las optimizaciones), Oro (cumpliendo con 40% de las optimizaciones aplicables) y Platino (cumpliendo con más del 80% de las optimizaciones).
- WELL v2: Consta de 10 conceptos como Aire (10), Agua (6), Nutrición (12), Iluminación (7), Movimiento (9), Confort térmico (8), Sonido (8), Materiales (9), Mente (9), y Comunidad (16), e Innovación (6). Los cuales proporcionan un puntaje acumulado máximo de 100 puntos. El nivel de certificación se define de forma más tradicional, con un puntaje acumulado de cada uno de los conceptos: Bronce (40-49 puntos), Plata (50-59 puntos), Oro (60-79 puntos), Platino (80 puntos o más). Adicional a esto, esta versión también puede certificar no sólo los edificios nuevos y existentes, sino también los espacios interiores y comunidades
- WELL Core: Es una adaptación especial de WELL v2, el cual evalúa esos mismos conceptos y otorga los mismos niveles de certificación, la diferencia radica en que aplica para edificios Core and Shell, el cual es un concepto inmobiliario para referirse a la estructura principal de un edificio, sin tomar en cuenta acabados e instalaciones, siendo un estado que tiene el edificio cuando está, por ejemplo, en proceso de rehabilitación. La solicitud de certificación puede llevarse a cabo siempre y cuando el 75% del área construida esté siendo ocupada por uno o más inquilinos, o que sirva como espacio común o de acceso para estos.

WELL se basa en una visión holística de la salud, no sólo como ausencia de enfermedad, sino como el gozo de una vida productiva, feliz y satisfactoria. Realmente es una inversión dirigida a los ocupantes durante el ciclo de vida de un edificio, que a fin de cuentas es parte de la filosofía que tiene la economía circular, que procura el factor ambiental y económico, pero también el social, mejorando la calidad de vida de las personas y del entorno con el que conviven.

Esta certificación también conlleva múltiples ventajas corporativas, ya que, sin lugar a dudas, otorga una mejor imagen en el mercado, atrayendo y sobre todo reteniendo talento, clientes, visitantes e inversores, donde el retorno de inversión derivado de su obtención se enfoca en ser corto y atractivo. Asimismo, un estudio hecho por IWBI reporta una reducción del 50% en absentismo de empleados, así como la disminución de rotación del personal en un 27%, aumentando en el proceso su productividad, satisfacción y mejorando el ambiente laboral, fomentando la colaboración y socialización.

Se ha comprado que como complemento de la certificación WELL, y por su tipo de enfoque, se adquiriera a su vez una certificación LEED que está más enfocada en la eficiencia de procesos y disminución de contaminantes. Tal es el caso de otra certificación sustentable, conocida como BREEAM, la cual se presenta a continuación.

BREEAM

El Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology es una certificación internacional creada en 1990 por la organización sin fines de lucro BRE Global del Reino Unido. Evalúa el grado de sostenibilidad ambiental de construcciones nuevas o existentes, y es uno de los métodos de certificación más avanzados desde el punto de vista técnico. Es aplicable para edificios con usos residenciales, de oficinas, escuelas, entre otros.

Este estándar es reconocido en 93 países, y actualmente cuenta con más de 600,000 edificios certificados alrededor del mundo⁴⁸. La adaptación en México estuvo a cargo de la asociación sustentabilidad para México (SUMe) y comenzó en 2014. Sus principales objetivos son el poder implantar una etiqueta ecológica en edificios, reducir su huella ambiental a lo largo de toda su vida útil, y fijar estándares de calidad que van un paso más allá de lo que se especifica en las normativas vigentes.

Entre sus principales características está que cuenta con un sistema de puntuación sencillo y flexible que es posible adaptar fácilmente a las diferentes necesidades de cada país. Se basa en la evaluación de 10 categorías: Gestión, Transporte, Agua, Salud y Bienestar, Innovación, Contaminación, Residuos, Materiales, Energía y Uso ecológico del suelo. Otorga la certificación con diferente categoría de acuerdo al puntaje obtenido, y van desde: aprobado, bueno, muy bueno, excelente, y sobresaliente.

BREEAM busca fomentar la circularidad a través de relacionar el diseño, construcción, eficiencia y uso del inmueble. Sus propuestas para esto se concentran en: incentivar un diseño durable y resiliente, el uso de materiales que hayan sido extraídos responsablemente o sean reutilizados, reducir el consumo de agua, energía y en la producción de residuos. De acuerdo con la experiencia que se ha tenido en el Reino Unido, los edificios que cuentan con esta certificación lograron reducir su consumo energético en un 60%, de agua en 35%,

⁴⁸Según los datos del documento *El certificado de la construcción sostenible líder en el mundo (s.f.)*. Por BREEAM ES

costos de operación y mantenimiento en 8%, y se logra un incremento del 10% en el valor de la vivienda.⁴⁹

Para esta certificación es tan importante la circularidad que han creado el BREEAM's Circularity Technical Working Group, que se dedica exclusivamente a estudiar los principios de la EC y ver la forma en la que sus criterios se pueden alinear aún más con estos. Están convencidos de que la forma en la que se puede alcanzar el net zero carbon durante el tiempo de vida de un edificio es cambiando el enfoque que se tiene sobre el diseño, los materiales y el uso que le damos a estos, en cada una de las etapas en un proceso constructivo, evitando así desechos al recircular todos los materiales posibles.

Este grupo de trabajo estableció tres principios básicos para la implementación de la EC en la construcción. El primero de ellos es la optimización de los recursos, que reconoce que el diseño de un edificio va a ser lo que permite o no un rendimiento óptimo de los recursos que se utilizaron para crearlo; y prioriza las remodelaciones sobre las demoliciones. También establece que se debe realizar un ACV para validar los resultados de las decisiones que se están haciendo antes de iniciar el proceso constructivo, para evaluar si se está llegando a los objetivos previamente establecidos sobre uso de materiales reciclados y optimización.

El segundo principio busca preservar la circularidad de un edificio durante toda su vida útil, a través de buscar que los usos del inmueble sean flexibles, adaptables, reemplazables, y desmontables. Y al final de la vida útil de este. todos los componentes y materiales deben ser recuperados. Esto significa que los equipos de diseño tienen que evitar utilizar materiales y productos que no tienen una ruta de recuperación conocida, incentivando la servitización y el arrendamiento de materiales y productos de construcción. Esto a su vez ayudará a establecer una base de datos de materiales entre proyectos que especifique métricas socioambientales y valores residuales financieros.

El tercer y último principio se enfoca en facilitar la gestión del flujo de materiales en cada etapa. Durante la demolición sugiere que esta debe ser selectiva y con estrategias de separación y control de residuos. En el proceso constructivo se debe asegurar el uso de la minería urbana y el reúso de los materiales excedentes de otros proyectos. Durante la operación sugiere que se tenga un plan de Gestión de recursos operacionales y se sigan utilizando estrategias de separación de residuos.

Esta evaluación ofrece muchas ventajas competitivas, entre ellas económicas, ambientales y sociales. Para más información sobre los criterios y puntajes de BREEAM dejamos el enlace a su página web: <https://bregroup.com/products/breeam/>

Otras

Existen muchas certificaciones alrededor del mundo, pero después de las descritas anteriormente, las que mayor relevancia tienen en el país son:

⁴⁹Datos obtenidos de *BREEAM principles for circular buildings*. (2023). BREEAM Circularity Working Group

- **PCES:** Programa de Certificación de Edificaciones Sustentables, creada por la Secretaría del Medio Ambiente y aplicable únicamente en México, cuyo objetivo es que las edificaciones adopten criterios de sustentabilidad en rubros como acciones en la comunidad, agua, aire, movilidad, biodiversidad, entre otros. Las empresas certificadas son acreedores a incentivos fiscales de hasta un 40% de reducción de impuesto sobre la nómina o 20% en el pago predial.
- **EDGE:** Excellence in Design for Greater Efficiency, creada por la Corporación Financiera Internacional. Es un sistema de certificación que se enfoca en la eficiencia energética, EDGE evalúa los edificios en áreas como el uso de energía, agua y materiales. Para ello desarrolló una escala comparativa que toma como base estándares locales.
- **NZEB:** Net Zero Energy Building. Se otorga a un edificio que genera la misma cantidad de energía que consume en un año. Los NZEB pueden utilizar una variedad de fuentes de energía renovable para generar energía, como paneles solares, turbinas eólicas y biomasa. También pueden utilizar técnicas de eficiencia energética para reducir el consumo de energía, como aislamiento mejorado, iluminación eficiente y sistemas de ventilación de recuperación de calor.
- **Parksmart:** Creado por la Green Building Initiative (GBI). Se basa en los principios de la construcción sustentable, como la eficiencia energética, la gestión del agua y la reducción de los residuos, así como en la salud y el bienestar de los ocupantes, y en la mejora de la calidad del aire interior, pero enfocado a estacionamientos.

4.3.3 El papel de la ética en la implementación de la EC

Estos dos instrumentos, las Metodologías de Gestión y las certificaciones ambientales le dan prestigio y una buena reputación a las empresas que logran dominarlas, y con justa razón, ya que lograrlo es un proceso muy largo que implica muchos retos, siendo que para superarlos se requiere de tener empleados con estudios técnicos, invertir en capacitaciones continuas para comprender los requerimientos y especializarlos en las metodologías y criterios de evaluación, comprar equipos capaces de soportar los programas de software, disciplina, transparencia y orden para elaborar los documentos, entre muchas cosas más.

Todo este esfuerzo es reconocido por los clientes que están dispuestos a pagar más dinero por conseguir que sus proyectos tengan esta etiqueta medioambiental. Estos clientes suelen estar muy involucrados en todo el proceso, estando mucho más presentes en el desarrollo de propuestas que buscan aumentar aún más la sostenibilidad del inmueble. Si bien es natural que la razón más común para perseguir este objetivo sea obtener una mayor rentabilidad a futuro, es más común de lo que se cree encontrar clientes que verdaderamente se preocupan por crear edificios que mejoren la calidad de las personas que lo habitan y del ambiente que le rodea.

Aunque son varios los factores que influyen a los clientes y a las empresas a demandar y crear proyectos más verdes, esto surge de una preocupación real por buscar la forma de reducir al máximo los impactos negativos a la sociedad y a la naturaleza, y de una profunda convicción de hacer las cosas bien en el proceso. No tomar atajos contrarios a los principios de la empresa y propios, o guiarse solamente por lo que es más económico sin pensar en si

es la mejor alternativa, sino que se debe tener un verdadero compromiso para cumplir con los objetivos fijados y superar todos los retos que se presenten en el camino.

A pesar de que los motivos que impulsan a los agentes involucrados a emprender este camino ecológico son muy variados, consideramos que todas tienen un origen: la ética personal. Esta llevará a las personas a desarrollar después ética profesional, pero es la primera, la que se aprende en el hogar y la escuela, la que hace conscientes a las personas de que su manera de actuar puede tener muchas repercusiones para terceras partes, y por lo tanto buscarán actuar de forma responsable hacia el ambiente, animales, plantas, otras personas, y aquí es importante resaltar que, cuando un individuo es ético porque le preocupa la sustentabilidad, también está considerando el impacto que sus acciones pueden traer a las generaciones futuras.

Es así que en este apartado se analiza cómo se relaciona la ética con la sostenibilidad, que es uno de los conceptos precursores de la EC, así como la capacidad tan grande que tiene la propia ética de las empresas y los clientes ya sea para acelerar e impulsar la implementación de este modelo económico, o de sofocarlo por completo.

Ética en la sustentabilidad de la construcción

“La ética no es producto de ninguna religión. Es fruto de la observación y la reflexión de los actos que hacemos día a día”. -Fernando Adrianzén.

En realidad, la ética y la sustentabilidad son dos conceptos que están estrechamente relacionados. La ética se refiere a los principios morales que guían el comportamiento de las personas, mientras que la sustentabilidad se refiere al desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades. En ambos casos representa el no pensar solamente en lo que un individuo hace y necesita, sino ir más allá y preocuparse por no hacerle daño a otros. Pero, ¿cómo es que surgió esta preocupación por el medio ambiente? ¿En qué momento alguien miró a su alrededor y pensó más allá de los intereses humanos, en el mal que le estaban haciendo a los ecosistemas que estaban explotando?

La ética es esta capacidad que tenemos los seres humanos para discernir entre las buenas y malas acciones, basándonos en enseñanzas de nuestras figuras de autoridad, las leyes, pero sobre todo, convicciones y criterios propios. Es una cuestión muy subjetiva, habrá personas a las que, por ejemplo, les parezca normal tirar un papel en la calle, mientras que otros lo consideran una falta muy grave y buscan concientizar a sus conocidos para no hacerlo. Lo verdaderamente fascinante, es que en sí no se le puede enseñar a una persona a ser ética. Se le dan las bases, en casa, en la escuela, pero la realidad es que es esa persona la que con estas enseñanzas va a conceptualizar su propia idea de lo que es ser ético, y esto varía mucho de una persona a otra.

Cuando las personas actúan de manera ética, toman decisiones que son responsables y que tienen en cuenta el impacto de sus acciones en el medio ambiente y en la sociedad. Cuando las personas actúan de manera sustentable, toman decisiones que garantizan el

uso sostenible de los recursos naturales y que protegen el medio ambiente para las generaciones futuras. Para poder implementar y utilizar las Metodologías de Gestión y las certificaciones, estos dos conceptos son la clave, ya que la idea principal es que los agentes piensen y desarrollen buenas prácticas ambientales, de acuerdo a su experiencia y criterio, que decidan transformar en obligatorias de manera voluntaria, y no porque una legislación se los exija. Este precisamente es uno de los desafíos más grandes para lograr implantar el modelo de economía circular, ya que se debe estudiar y analizar la conducta actual del ser humano con la naturaleza, el impacto que sus acciones generan en el medio, y las causas que producen tal comportamiento.

Desafortunadamente existe una tasa muy alta de corrupción y malas prácticas en la industria de la construcción. Según Niell Stansbury, el responsable del Global Infrastructure Anti Corruption Centre, existen 13 factores que influyen en este problema. Entre ellas están la dificultad para homogeneizar el control en las obras debido a que cada proyecto es diferente, lo que le hace más fácil a las empresas ocultar sobornos o presupuestos sin sentido. Declarar materiales de una mejor calidad de la que realmente se adquiere es una práctica también muy común, y esto además puede resultar en una construcción mucho más insegura.

Algunos otros factores incluyen las complicaciones burocráticas que favorecen los sobornos, y las sumas tan grandes de dinero que se manejan en los proyectos pueden facilitar también estas actividades tan poco éticas. Existen estimaciones que dicen que las pérdidas que se dan a través de la corrupción oscilan entre el 10% y 30% del costo total. Además, los sobrecostos son la más grande oportunidad para estos fraudes. La Auditoría Superior de la Federación estima que el promedio de la desviación es de hasta 140%.

En relación a la sustentabilidad, las malas prácticas que más impactan negativamente los esfuerzos por minimizar los daños al medio ambiente son precisamente los relacionados con los materiales, ya que a veces se dice que se están comprando los que tienen una menor huella de carbono cuando son los tradicionales. O se destina una parte del presupuesto a realizar medidas de mitigación de daños y al final no se utiliza toda esta cantidad, o inclusive nada de esta para el fin acordado.

Ya existen varios autores y profesionales que han estado estudiando los impactos de la corrupción en la sustentabilidad, y han desarrollado una serie de propuestas para mitigar sus efectos. Todos giran en torno a que se apoye en la responsabilidad moral tanto de las personas, conjuntos sociales y las estructuras de gobierno. Por mencionar algunas de estas:

Evitar el consumismo desmedido. La cantidad de construcciones en proceso en el mundo es exorbitante. En ciudades como Londres es ya una costumbre ver decenas de grúas trabajando en la cima de los edificios siempre. Todos estos proyectos consumen una cantidad muy grande de recursos, y hay algunos, como por ejemplo, la madera, que no se recuperan en años. Aprender a racionalizar los recursos y respetar los ciclos de recuperación de la naturaleza, evitando la tala desmedida de árboles y la extracción de minerales es clave para lograr la sustentabilidad. De igual manera, se puede mitigar mucho los impactos si se utilizan materias primas de segundo uso o reutilizando materiales de otros proyectos.

Si bien la ética es un concepto más voluntario y la motivación para no afectar a la naturaleza debería venir de los valores de la persona, no está de más reforzarlo utilizando los instrumentos legales. Es por eso que la CMIC plantea la propuesta de que el sistema anticorrupción esté ligado con la Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las mismas.

La mundialmente reconocida consultora Deloitte propone la estrategia de tener un control más estricto en las obras del sector privado, exigiendo transparencia a través de leyes más estrictas y penalizaciones más altas que le quiten el atractivo a las malas prácticas. Para el sector público la propuesta se centra más en aumentar la profesionalización en la industria por medio de salarios y un entorno más competitivo, incentivos y un plan de carrera, que reduzca el interés de los colaboradores de caer en actos de corrupción.

Por último, se hace mención de la necesidad de aumentar el nivel de digitalización en la industria, para poder tener más transparencia de todo lo relacionado con los procesos de la obra, evitando también los sobrecostos y los presupuestos inexplicables. Es claro que esto no va a solucionar todos los problemas no éticos de la industria. En México desafortunadamente no es inusual que las licitaciones ya estén arregladas desde un principio, puesto que algunas constructoras sobornan a las personas que deciden, ofreciendo obras más económicas pero de baja calidad.

Si bien en todos los sectores económicos la ética debería estar implícita en cada una de sus actividades, hay que recordar que en la edificación hay vidas humanas implicadas y el no actuar de forma ética podría tener consecuencias muy negativas para la sociedad. Asimismo siempre debemos tener presente que nuestro actuar afecta a muchas formas de vida, ya sea para bien o para mal, y a muchas generaciones, por lo que es imperativo abordar juntos los problemas bioéticos que la humanidad enfrenta. Este análisis puede resultar más sencillo si se separan las responsabilidades y el rol que juegan los clientes y las empresas que se dedican a la creación de infraestructura.

4.3.3.1 De las empresas constructoras

Este primer agente se refiere a las empresas de construcción que ofrecen sus servicios para ejecutar el proyecto, como constructora, consultora, gestor de proyecto, o de cualquier otra forma. Al estar compuestas por empleados y tener un trato con el cliente, este agente tiene doble responsabilidad ética, una interna y una externa.

La primera es una combinación que se refiere al comportamiento y acciones realizadas por los empleados, y también a la responsabilidad que tiene la propia empresa con ellos. El modelo de EC dice que para tener un conocimiento integral de todos los riesgos asociados es necesario contemplar lo ambiental, lo social y lo económico, y como en cualquier industria, la edificación tiene riesgos de alto impacto en los tres rubros.

Existen varias investigaciones que revelan una tasa de mortalidad extremadamente alta en los trabajos de construcción, así como de accidentes. Entre 2009 y 2016 Malasia (país con mayor número de casos) experimentó 58 muertes, 11 discapacidades permanentes, y 101

discapacidades no permanentes⁵⁰. Esto se debe a los peligros que las diferentes actividades en las obras, como trabajo en alturas, exposición dérmica e inhalable a materiales peligrosos, prácticas inadecuadas, entre muchos otros.

Cada uno de los accidentes en obras representan un aumento de costos considerable para las empresas, además de que muchos de estos podrían ser evitados si estas hicieran más hincapié en el buen uso de la ética, tanto para proveerles a sus trabajadores de condiciones de trabajo seguras, como capacitaciones continuas sobre la seguridad en los procedimientos según la normativa vigente. Esto será más fácil si la empresa logra crear una cultura de valores que incluya también los de carácter ético, así sus participantes sabrán cómo actuar tanto dentro como fuera de la misma.

Al hacer esto, no sólo verán una reducción en el número de accidentes, sino también un aumento en la moral de sus empleados. Esto es de gran relevancia puesto que evitará que caigan en prácticas poco éticas como lo es el aceptar sobornos. La implementación de la ética dentro de una compañía debe hacerse a través de la responsabilidad, la transparencia, integridad, honestidad y respeto.

La ética externa, para con los clientes, tiene más impactos en cuanto a temas de sustentabilidad. Empezando por que, como ya se mencionó, la contaminación de los materiales utilizados en un proyecto es enorme. Existen muchos clientes que están interesados en que su proyecto sea construido usando aquellos recursos que tengan la menor huella de carbono, o mitiguen sus impactos de cierta forma y esto se puede prestar a que la empresa, en un acto no ético, decida comprar los materiales tradicionales (puesto que suelen ser más económicos) y ahorrarse este costo.

Por otro lado, es muy común que la constructora encargada del proyecto tenga que subcontratar a otras para algunas actividades específicas de la obra, y existen ocasiones en las que, debido a la falta de ética se ofrece un soborno a la empresa principal para que esta le dé el contrato aunque no sea la mejor opción, ni por calidad de su trabajo o sus esfuerzos por proteger el medio ambiente. Esto también se ve mucho en las licitaciones del proyecto, creando así monopolios injustos que catalizan la destrucción de los ecosistemas.

Otro caso es el muy común hurto de materiales por parte de los trabajadores en sitio, que además de significar un sobre costo para reponerlos, también significa una mayor demanda a los fabricantes de materiales, que conlleva a un aumento del estrés sobre los recursos naturales. La acción bioética que podría mitigar un poco este impacto es que las constructoras busquen contratos únicamente con fabricantes comprometidos con reducir sus impactos ambientales, a través de la incorporación de materiales de segundo uso o reutilizados en sus productos, y el no usar componentes tóxicos en sus procesos.

Esto podría sentar una base para que también se le dé preferencia a estas empresas ambiental y socialmente responsables en los procesos de licitaciones tanto públicas como privadas. De esta forma se logran beneficios para todos, y se logra dar un gran paso más

⁵⁰ Datos obtenidos de *Corrupción en la industria de construcción*. (2017). Publicado por Deloitte

hacia la implementación del modelo de EC, ya que de la ética derivan también el uso de las herramientas anteriormente mencionadas, que culmina en la creación de edificios más rentables, verdes, y beneficiosos para la sociedad.

4.3.3.2 De los clientes

Estos pueden ser desde un solo individuo, hasta una empresa la que solicita los servicios de otra para realizar una construcción. Si bien ellos son los que van a tener la última palabra sobre todo lo referente al proyecto y por lo tanto es la parte a la que hay que “complacer”, es importante que tengan muy presente que ellos también están sujetos a seguir con un código de ética para con la empresa constructora.

Se espera de parte de los clientes que tengan una transparencia total con todo lo que esté relacionado con la obra, y cumplir sin falta con todos los acuerdos entre ellos. Esto tiene aún más importancia cuando se busca obtener una certificación como las mencionadas anteriormente en otro apartado, y que ante todo no busquen “atajos” y se aseguren de cumplir con todas las especificaciones de forma ética. Finalmente, ellos son los dueños de la obra y serán los que se vean más beneficiados de tener una certificación.

Otra de las responsabilidades éticas del cliente es el asegurarse de que se estén utilizando los materiales óptimos para la construcción, y nunca proponer el uso de insumos de mala calidad o en menor cantidad para reducir el costo de la obra, ya que puede atentar contra la seguridad de los futuros usuarios que lo ocupen, puesto que será más susceptible a incidentes como incendios, y en caso de México, a sismos.

El compromiso más grande de este agente es el estar presente en la planeación, diseño y ejecución de la obra. Que no solamente aporte el dinero sino que sea una parte activa en la toma de decisiones, y que sus intereses más allá de económicos busquen el bienestar de la sociedad y el medio ambiente.

Esto se hace a través de lo que se conoce como requerimientos funcionales y no funcionales. Existen varios autores que definen estos términos, pero en palabras simples, el primero se refiere a aquellas condiciones que necesita tener un producto para ser de utilidad, que son indispensables para su funcionamiento. En el caso de un edificio estos serían que cuente con todos los elementos estructurales para sostenerse, que tenga puertas, ventanas, y las instalaciones de gas, electricidad y agua.

Por otro lado, los requerimientos no funcionales son aquellos que se consideran como un valor añadido, y son los que le dan esa plusvalía al producto, lo que lo distingue de otros. Volviendo al ejemplo del edificio, estos requerimientos son que los materiales con los que se construyó el inmueble sean de muy buena calidad ambiental, así como que las instalaciones de distribución de agua y electricidad en el edificio utilicen sistemas de energías limpias o puedan aprovechar el agua de las precipitaciones.

Es en estos donde se demuestra el interés, conocimiento y también la ética de quien lo adquiere, de los clientes que demandan el producto. Los futuros dueños del inmueble, al

querer construir verde, son conscientes del sobrecosto que esto implica, así como también los usuarios que compran o rentan los espacios dentro del edificio, sin embargo están dispuestos a pagar el precio para poder cumplir con lo que consideran como su obligación moral: el hacer del mundo un lugar mejor a través de sus acciones, y la elección de su vivienda (no sólo por la construcción de esta, sino también por la forma en la que se van a poder transportar dependiendo de su localización y accesos, el ahorro de agua y electricidad que tienen, entre otros aspectos ya mencionados) reduce mucho su huella de carbono personal. Al tratarse de un inmueble que va a albergar a cientos, sino es que a miles de personas, el impacto generado tiene un alcance de gran magnitud.

A través de la ética se generan ambientes de preocupación por el uso consciente y mesurado de los recursos naturales, evitando las actitudes agresivas que pongan en riesgo o peligro potencial una futura escasez de los mismos, creando con ello una conciencia ética colectiva sobre la preservación de los mismos.

Es por esto que, cuando el futuro dueño de la obra comienza a conceptualizar lo que quiere, debe hacerlo desde un genuino interés por mejorar en alguna forma la calidad de los usuarios que vivirán dentro del edificio sí, pero también de la comunidad que le rodea, a través de la innovación. Esto será posible si elige los servicios de empresas que compartan estos mismos valores de transformación social y ecológica.

4.4. Implementación de un Sistema de Gestión de Calidad

Como tal el significado del término “calidad” está en función del uso final del producto, lo que quiere decir que es de buena calidad cuando es bueno para el fin que se propone. Las herramientas antes presentadas son precisamente para tener una mayor probabilidad de presentar un producto que el cliente considere de buena calidad. En cada una de estas herramientas, existía un común denominador para asegurar el éxito de su utilización: la medición a través de indicadores concisos que permitan a todos los agentes involucrados en el proyecto entender el progreso y las áreas de mejora de cada etapa del proceso.

Lo que no se mide, no se puede mejorar, y para este propósito existen los Sistemas de Gestión de Calidad (SGC de ahora en adelante), que son un método planificado y organizado para asegurar que los productos o servicios se ajusten al objetivo establecido, asegurando así la confianza en los procesos y la resolución de problemas. Su principal objetivo es que las empresas puedan demostrar su nivel de calidad en el sector, para alcanzar así una posición competitiva en el mercado.

Estos se basan en la planificación, control, aseguramiento, y sobre todo la búsqueda de mejoramiento continuo. Su pilar es el Control de la Calidad, pero no se le debe confundir con este concepto, ya que este se refiere a la verificación sistemática de las variables que pueden afectar la excelencia del producto final. La gestión de calidad, en cambio, abarca a todos los procesos y se dedica a todas las actividades de la empresa, no sólo a la producción. Otra de las diferencias es que la gestión incorpora al cliente en el sistema, al tomar en cuenta sus necesidades y opiniones para mejorar el producto, las cuales se transmiten al área de control de calidad para que desarrollen las ideas en la producción.

Para poder implementar exitosamente un SGC, es necesario involucrar a todos los miembros de la organización, garantizando así la participación activa y consciente de todo el personal. Las principales ventajas de hacerlo se verán reflejadas principalmente en una disminución considerable de los costos asociados a la no calidad, en el caso de las obras esto se traduce en evitar los desperdicios y retrasos. También se optimiza el aprovechamiento de los recursos, auxilia a la empresa cuando se tiene que adaptar a nuevas normas técnicas o ambientales, y en general aumenta el rendimiento operacional a través de la definición de estrategias, objetivos, y métodos de trabajo. Estos últimos se van facilitando y mejorando gracias a la creación de los sistemas de gestión documental, uno de los elementos de los SGC.

El primer paso para lograr implementar un SGC es el estudio y cumplimiento de la norma ISO 9000, que refieren justamente a los pasos que se deben seguir para conseguirlo. Están orientadas hacia el proceso de elaboración del producto y a la satisfacción del cliente; para esto exigen que se tengan sistemas documentados que permitan controlar los procesos de desarrollo de producto. La principal norma de esta serie es la ISO 9001, que señala los requerimientos de certificación de un SGC. Es posible implementarlo sin certificación, pero contar con el sello de un auditor asegura un buen funcionamiento de la organización, lo cual es un reconocimiento ante proveedores y clientes de la empresa. La desventaja es que certificarse es un proceso largo y costoso que no todas las empresas se pueden permitir.

Es necesario que la empresa tenga una auditoría interna primero, y ponga en orden todos sus documentos antes de solicitar la certificación, este proceso toma mucho tiempo y recursos de la misma empresa, ya que todas las áreas tienen que pasar por este proceso para determinar los procesos que va a incluir el SGC, un objetivo y política de calidad, así como las responsabilidades de cada área involucrada para hacer revisiones periódicas del desempeño; planificar la realización del producto (en este caso, un edificio), sus materiales, diseño, etc., siempre tomando en cuenta las necesidades del cliente; y por último, controlar la producción y validar cada etapa del proceso, sin descuidar la trazabilidad.

Para lograr esto existen tres elementos que van a optimizar el funcionamiento de un SGC, y se describen a continuación: los Sistemas de Gestión Documental, la Estructura de Procesos, y la Planificación de Auditorías. Cada uno de estos cumple con una función específica que definirá la base del sistema a aplicar dentro de la empresa.

4.4.1. Sistema de Gestión Documental

Más que un sistema, se trata de la metodología desarrollada por la empresa para redactar, emitir, distribuir y almacenar documentos que hagan más sencilla la comprensión del funcionamiento de la organización. Sus principales objetivos son evitar la pérdida de la documentación, al tenerla toda en un único sistema, lo que ahorra tiempo y dinero, además de que garantiza la seguridad de estos documentos ya que se pueden controlar los accesos de las personas al contenido de estos, y su destrucción certificada cuando cumplen con su ciclo de vida. También sirve como un apoyo interno para cuando es necesario hacer una toma de decisiones.

Existen muchas ventajas en torno a tener un Sistema de Gestión Documental (SGD), siendo la primera la digitalización de documentos. Más empresas de las que se piensa, especialmente las que ya llevan mucho tiempo operando, todavía tienen muchos de sus archivos en papel sin ningún respaldo digital. Aunque el procedimiento de escanear y organizar todo en la nube sí es un proceso largo, una vez que se tenga será mucho más fácil encontrarlos cuando se requieran, y claro que esto reduce mucho la utilización de papel, y por pequeño que parezca, es un impacto positivo hacia el medio ambiente.

Aplicando este sistema a un proyecto de construcción, sabemos que se manejan una gran cantidad de documentos que son de distinta índole y no todos los agentes necesitan tener acceso a cada uno de ellos. Si se piensa en el SGD como un árbol, el tronco serían los documentos de carácter general que todos los agentes involucrados necesitan conocer, como el modelo 3D del edificio, los planos arquitectónicos, el presupuesto general, políticas de calidad y confidencialidad, entre otros. Y las ramas serían las especificaciones técnicas, los costos unitarios desglosados, los pagos de nómina, planos a mayor detalle de la estructura, sistema contra incendios, instalaciones de agua, gas y eléctricas, entre otros.

Cada uno de estos documentos va a ser generado por distintas áreas de la constructora, puede que hasta diferentes empresas si se subcontratan servicios. Los SGD les permitirán a cada una de estas áreas mantener sus archivos separados y organizados como mejor les acomode, aunque lo más recomendable es que toda la empresa tenga alguna especie de código para que cada empleado pueda localizar lo que busca fácilmente. Esto no significa que todos tendrán acceso a toda la información, pero los sistemas que existen actualmente permiten compartir archivos con diferentes permisos, ya sea para editar, comentar o sólo visualizar. Gracias a esto se mejora el flujo de trabajo y se tiene una visualización mucho más completa del avance de cada área.

Lo mejor de todo es que los SGD se sustentan en el uso de herramientas de software como Google Drive o la paquetería de Office, donde una de sus funciones más valiosas es la colaboración documental, lo que quiere decir que varias personas pueden trabajar en un mismo documento al mismo tiempo y ver el progreso en tiempo real, lo que optimiza mucho el tiempo de trabajo y evita la creación de varias versiones (unas más avanzadas que otras) de la misma información. Podría parecer difícil llevar un control de quién edita el documento, pero estos sistemas cuentan con un historial de versiones, donde es posible restaurar una anterior en caso de que haya sido alterada incorrectamente, o revisar quién modificó qué parte del documento.

Aunque existen muchos tipos de documentos que pueden conformar el SGD de una empresa, de forma general se pueden clasificar en tres grupos: los manuales, los procedimientos y las notas técnicas.

Entre los primeros se encuentra el Manual de Calidad y el Medioambiental, donde se detallan justamente las políticas de cada uno (donde se hace el compromiso de mejora continua y de cumplir con todos los requisitos legales), así como los requerimientos de la ISO 9001. Relativo a los manuales con contenido ambiental, también se debe tener los

requerimientos de la ISO 140001, para la creación y uso de los Sistemas de Gestión Ambiental (SGA).

Estos sistemas sirven para la elaboración de procedimientos de mitigación ambiental, como registro y control de la legislación medioambiental aplicable, así como para establecer objetivos y metas en este tema. Este tipo de sistemas son clave para la implementación de la EC, puesto que servirá de soporte para realizar mejoras en los procesos existentes, para compilar catálogos de proveedores y materiales que también tengan estos sistemas, así como facilitar una base de datos de distintas problemáticas a las que se hayan enfrentado, y las soluciones que utilizaron, sirviendo así como una red gigante de información para el intercambio de ideas de protección ambiental y de innovación tecnológica.

Volviendo a los documentos que integran los SGD, los procedimientos integran la información del cómo se realizan las actividades. Esto es de especial utilidad para personas externas puesto que así se familiarizan con la forma de trabajo de la empresa. Por ejemplo, los subcontratistas que únicamente se van a encargar de trabajos en altura pueden aprender sobre las políticas de seguridad de la empresa, darse cuenta de que por ejemplo en esta empresa es obligatorio llevar cierto registro de quién sube, o el equipo que deben llevar, entre muchas otras cosas.

Las empresas constructoras también pueden utilizar esta sección para describir paso a paso algunos de sus procesos constructivos, para volver a ellos en caso de que se les presente un caso similar en el futuro y se quiera replicar. Es recomendable que todos tengan el mismo formato, es decir que exista un “procedimiento tipo”, un documento estándar para todas las áreas con los mismos apartados; se recomiendan los siguientes: portada, índice, objetivo, alcance, definiciones, actividades a realizar, responsabilidades y los anexos. Además de presentación, esto facilita el entendimiento de quien lo lee.

Por último, las notas técnicas contienen guías y especificaciones que detallan más a fondo lo que los procedimientos no. Por ejemplo, aquí estaría el catálogo de proveedores de materiales, centros de reciclaje, o directamente de materiales con los que ya se ha trabajado y cumplen los requisitos técnicos y ambientales que se buscan. Otros documentos en esta categoría son las guías técnicas de perfiles de acero o piezas que se necesitan para las instalaciones sanitarias, etc.

La elaboración del SGD va a requerir de muchos recursos humanos, almacenar todos estos documentos es una tarea difícil, pero representa la base donde se va a sustentar el SGC. Al momento de las auditorías es cuando más importante será el haber construido esta base ordenada de datos, recordando siempre que se debe contar con los datos actualizados y buscar una mejora continua del sistema.

4.4.2. Estructura de Procesos

El Sistema de Gestión Documental es muy útil para documentar los procesos que suceden en la operación de una empresa, pero son estos procesos los que nos ayudan a alcanzar los objetivos para establecer sistemas, controles e indicadores de calidad para el

funcionamiento óptimo de cada parte del SGC, traduciendo todo lo que hacemos, cómo lo hacemos, el alcance y los responsables de cada actividad. Para esto existen varias herramientas que sirven para entender cómo establecer los procedimientos y cómo se deben desglosar para presentar toda la información necesaria y ser entendible para cualquier persona que lo revise.

La primera es el Manual de Gestión de Procesos, que como su nombre sugiere, ofrece un mayor nivel de detalle sobre cuáles son los procesos clave y asociados, los objetivos, funciones y responsables de cada uno, etc. A esto se le conoce como despliegue de procesos y se hace fragmentando los macro procesos en partes cada vez más sencillas para lograr un mejor entendimiento.

La segunda es el Mapa de Procesos, una representación gráfica de la secuencia e interacción de todos los procesos que intervienen en una organización. Se hace de forma global para lograr una mejor visualización de la relación que existe entre los diferentes departamentos y áreas que interactúan. La base de este mapa sigue siendo el Manual de Gestión, pero en este formato es más fácil conocer qué procesos preceden a otros y el flujo de información que se da.

Si bien estas herramientas pueden resultar muy útiles cuando se utilizan adecuadamente, es fácil desviarse del objetivo y desarrollar mapas poco efectivos, confusos, ambiguos o incompletos. Este riesgo se mitiga siguiendo estos cuatro pasos que facilitan el desarrollo de un mapa de procesos exitoso:

1. Clasificar a los procesos a través de una identificación exhaustiva. Ninguno de los procesos debe ser obviado, sino que todos deben ser cuidadosamente descritos, de otra forma se pueden mezclar o confundirse con otros similares.
2. Una vez identificados, se le debe asignar un nombre que refiera a la función o el objetivo de este proceso.
3. Ya que todos los procesos sean nombrados, es necesario realizar un inventario, organizado de tal forma que cada elemento se pueda encontrar ya sea por el nombre o la categoría a la que pertenece. Aunque la categorización se hace de manera diferente dependiendo de la empresa, es posible decir que de forma global existen tres grupos:
 - a. Estratégicos: Aquellos procesos que son responsabilidad de la dirección.
 - b. Operativos: Los que están involucrados en la elaboración del producto o la prestación del servicio que ofrece la compañía.
 - c. Soporte: Los que son de provisión de recursos, estos incluyen la medición y análisis de indicadores, así como la mejora continua.
4. Ahora se debe distribuir espacialmente a los procesos y con flechas dibujar las relaciones que existen entre ellos. Se recomienda hacer énfasis en los operativos, ya que suelen tener los procesos más largos y es fácil perderse en la línea de producción.
 - a. De hecho, es común que los procesos operativos requieran de un mayor nivel de detalle para su entendimiento. Para no saturar el mapa de procesos principales se recomienda usar un “nivel 2”, es decir, otro mapa que detalle cada fase de la cadena de valor, con su debida secuencia e interrelaciones, tal y como se muestra en la Figura 4.2.

Aunque esta es la representación tradicional de un mapa de procesos, hay muchas otras que son igual de válidas, y dependerá de la empresa elegir el modelo que más le convenga o inclusive puede crear uno desde cero para que se adapte completamente a sus necesidades. El objetivo de este mapa es que sea útil, y no solamente un documento a realizar y después sea archivado, pues en este se pueden localizar las áreas de mejora del SGC que usa la empresa. Al tener todos los procesos mapeados de esta forma, es muy fácil ver de qué forma y en qué momento se involucran los subcontratistas u otros proveedores.

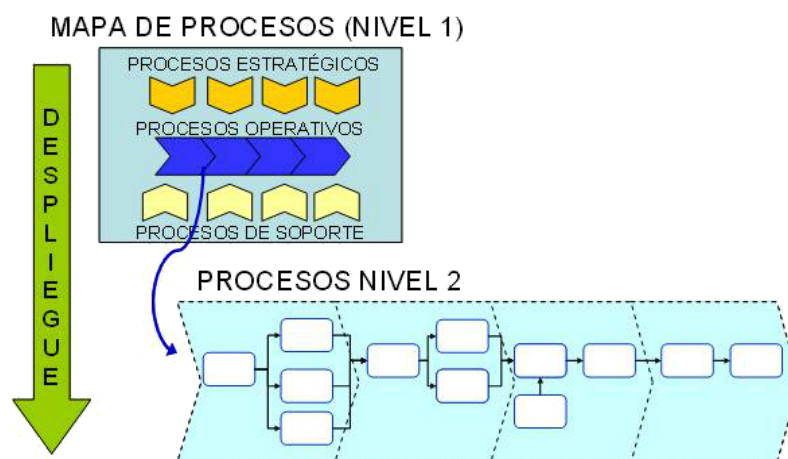


Figura 4.4: Estructura básica de un mapa de procesos.

Fuente: PDCA Home (2014). *El mapa de procesos como herramienta de gestión*

En una empresa constructora, estos mapas pueden servir también como una especie de programa de obra. Si bien no es tan detallado como el programa, sí es posible ver claramente los pasos a seguir durante el proceso de edificación, desde concursar en la licitación hasta la entrega de la obra, con múltiples niveles que detallen a fondo los procesos legales en las primeras etapas, y en la constructiva se pueden desglosar todas las etapas y sus actividades.

Respecto a cómo ayuda la estructura de procesos a implementar la EC, es bien sabido que lo que no se mide no se puede mejorar, pero inclusive antes de eso, lo que no se ve, no se puede medir ni mejorar. Esta identificación permite observar las relaciones que existen entre las actividades de la edificación, y con ello se puede saber cómo y dónde aplicar los principios de este modelo económico. Si también se logran mapear los productos derivados de una actividad, será mucho más sencillo saber dónde aprovecharlos a estos y sus “residuos”, evitando así la generación excesiva y fomentando la reutilización.

No hay límites para el alcance de estas estructuras, pueden detallar desde la secuencia de procesos, hasta detalles muy específicos de generación de emisiones de GEI, contaminación del agua o cualquier otro aspecto medioambiental; mejorar la trazabilidad de los productos y sus desechos, lograr una mejor comunicación entre los agentes involucrados, entre muchos otros.

4.4.3. Planificación de Auditorías

Si bien la buena planeación y elaboración del Sistema de Gestión Documental y la Estructura de Procesos son la esencia de un buen Sistema de Gestión de Calidad, es necesario hacer revisiones para verificar la efectividad del sistema. Estas evaluaciones a nivel empresarial se llaman Auditorías, y pueden ser internas o externas.

Ambos tipos de auditorías sirven a diferentes propósitos, pero la preparación para ambas es la misma: todos los procedimientos e instrucciones de los procesos de las operaciones de la empresa, al igual que su respectiva documentación, deben estar bien descritos incluyendo toda la información de cómo se hace, el alcance que se pretende tener, y quiénes son los responsables de cada actividad.

Las función principal de las auditorías internas es preliminar, una “prueba” para que cuando toque la externa se sepa qué esperar y para conocer los puntos fuertes y débiles, así como para fortalecer estos últimos con el fin de aprobar la auditoría externa. Si bien es posible capacitar al personal interno para que haga las evaluaciones, en caso de que la empresa sea inexperta, lo mejor será contratar a una consultora externa, aunque para esto la empresa auditada debe ser consciente de que necesitará mostrar el detalle de todas sus actividades. Una vez que madure el sistema de auditorías, ya puede pasar a ejecutarse internamente.

Por otro lado, las auditorías externas se solicitan con el fin de conseguir un sello o certificado que avale que se implementó exitosamente con alguna norma (ISO 9001 de SGC, 14001 de gestión medioambiental, 45001 para gestión de salud y seguridad, entre otras), también sirven para comprobar si se cumplió con la legislación mediante auditorías fiscales. Estas siempre deben ser realizadas por una empresa externa que sea experta en la norma o certificación. En el caso de que la auditoría sea aprobada, se agendan revisiones periódicas para renovar este certificado.

Después de cualquier auditoría, ya sea interna o externa, se haya aprobado o no, se debe hacer un seguimiento de acciones preventivas, correctivas y de mejora, según las observaciones que se hayan hecho. Estas recomendaciones se pueden clasificar en dos tipos: de No Conformidad y Oportunidades de Mejora. Las primeras son actividades que no cumplen con los requisitos y necesitan reestructurarse completamente, y por otro lado las oportunidades de mejora indican que una actividad pasó la auditoría con el mínimo puntaje y deben desarrollarse más para la próxima auditoría.

Para garantizar que se va a tener suficiente tiempo para corregir los errores detectados durante la auditoría interna antes de que sea la externa se tiene que planificar correctamente los plazos, para realizar el seguimiento de las acciones correctivas y de mejora. Existen normas, como la ISO 9001, que dictan que en caso de encontrar No Conformidades la empresa cuenta con 30 días para que resuelvan la causa raíz. De no ser así, se rechaza el proceso y se deberá comenzar de nuevo.

Las auditorías son una herramienta más que impulsa a la implementación de la EC en una empresa, tanto de forma interna como externa. Cuando una organización decide comenzar con este proceso es porque ya ha decidido implementar los principios de sustentabilidad en sus procesos, y para esto el contar con una empresa que sea experta en el tema facilitará mucho el proceso.

Un claro ejemplo de esto son las certificaciones ambientales para edificios (LEED, WELL, etc.); cuando una empresa constructora desea que su edificio cuente con alguna de ellas, para aumentar las posibilidades de conseguirlo en el primer intento pueden contratar a una empresa consultora cuya especialidad sea el estudio de los requisitos de las certificaciones, y por lo tanto pueden compartir estos conocimientos con la empresa que construye en cada etapa del proceso, orientando sus esfuerzos para alinearlos con los requisitos del certificado que se desea conseguir.

Lo ideal sería contratar los servicios de esta consultora desde el inicio del proceso constructivo, para evitar repetir trabajo en caso de que no cumpla con los requisitos. Esto se puede hacer para cada proyecto en el que se involucre la empresa, pero con el tiempo irán adquiriendo la experiencia y podrán dejar de depender de la consultora.

El tener una certificación de este tipo le da una buena reputación a la empresa y mucha visibilidad, por lo que le facilita el acceso a proyectos y clientes más importantes. Asimismo, los proveedores buscarán trabajar con empresas de calidad. Esto significa que, una empresa que haya logrado implementar los principios de la EC en sus operaciones, y haya decidido certificarse a través de las auditorías, tendrá la oportunidad de ayudar a hacer mucho más sostenible a la industria gracias a sus buenas prácticas.

Por otra parte, también tendrá el derecho de ser más exigente con sus proveedores y, en el caso de los fabricantes de materiales, en la calidad ambiental de sus productos. Esto porque para que una empresa pueda implementar a la EC lo tiene que hacer de forma integral, en todas sus operaciones y a todos los niveles, haciendo así que los proveedores que deseen trabajar con este tipo de empresas tengan que mejorar sus prácticas también.

Conseguir las certificaciones, aprobar las auditorías, es como un sello de confianza ante los clientes, es un distintivo junto a la competencia, y promueve la ética entre los empleados. Como empresa, si se aplican los principios y estrategias de la EC, se logra que los clientes las elijan para edificar sus proyectos, entonces podemos decir que están impulsando la aplicación de este modelo económico.

Una forma de facilitar el registro de la documentación y otras actividades de las auditorías es a través de la automatización, y ya existen varios softwares de gestión de calidad como lo son: Software ISOTools Excellence y Software Q-bo. Esto permite estandarizar la forma de implantar la calidad dentro de una empresa y se ahorran recursos como tiempo y dinero, ya que estos programas son capaces de identificar procesos de riesgo y oportunidades antes de que se ocurran y ocasionen pérdidas.

Capítulo 5. Comparativa de la aplicación de principios de EC en la edificación

En los capítulos anteriores se ha revisado toda la teoría referente a la Economía Circular, sus fundamentos, las ideas en las que se sustenta, su relación con la edificación, y en cómo se diferencia del modelo de Economía Lineal que predomina en el mundo actualmente. También se describieron los problemas de contaminación a los que se enfrenta el planeta, y específicamente los que son provocados por la industria de la construcción. En este último capítulo se busca explicar cómo es que toda esta teoría se ha aplicado en la edificación, y el alcance de estas prácticas.

Para cumplir con este objetivo, se presenta una comparativa de cómo se han aplicado los principios de la EC en la construcción de un edificio en México y otro en España. Se entiende que el contexto de los países es muy distinto, la normatividad, el clima, los fenómenos naturales a los que se enfrenta cada uno, y todo esto influye en la elección de las tecnologías y materiales utilizados en la obra.

La intención no es juzgar o criticar a la industria de la construcción mexicana, sino analizar de forma crítica cómo se maneja la de España, un país cuya normativa medioambiental está mucho más desarrollada. Es posible aprender de las técnicas que han aplicado, si se tropicalizan al contexto mexicano. Al hacer esto esperamos sentar un antecedente de dónde nos encontramos actualmente y a dónde queremos llegar.

Es innegable que las políticas medioambientales nacionales e internacionales se irán haciendo cada vez más rígidas en los próximos años, y si las constructoras mexicanas quieren asegurarse una posición competitiva en el mercado deben comenzar a preocuparse por ofrecer soluciones sustentables, estudiar este campo desde ahora y no esperar hasta que sea obligatorio. Observar, analizar y aprender de otros países que están mucho más avanzados en la implementación de la EC en esta industria solamente puede traer beneficios y acelerar su progreso en México.

En el contenido de este capítulo se describen las generalidades de los dos edificios que se están utilizando como referencia, incluyendo datos como las temperaturas y condiciones a los que están expuestos. En segundo lugar se explican los factores por los cuales se consideran los más sustentables en sus respectivos países, y en cómo se relacionan estos factores con los principios e ideas en los que se apoya la economía circular. Por último se presentan las conclusiones generales.

Es necesario aclarar que esta no es una comparativa de cuál de estos edificios es más sustentable entre los dos, y que a propósito se eligió una obra extranjera de mayor calidad ambiental. Lo que se pretende es comparar dos puntos: primero, los criterios que llevaron a los gobiernos, prensa y población de dichos países a considerar a estos edificios como los más sustentables a nivel nacional, y en segundo lugar en cómo estos criterios se relacionan con los fundamentos y propuestas de la EC.

Indirectamente se verán reflejadas las exigencias de la normatividad y de los clientes que demandan estas obras. Para ejemplificar esto, pensar que en México, el hecho de que una parte del edificio se haya construido con materiales reciclados, o que una fracción de su consumo energético se haya generado a través de energías renovables es considerado por muchos como innovador y sustentable, además de que la decisión de hacerlo es completamente voluntaria por parte de la constructora encargada. Al contrario, en otros países ya son obligatorias estas y muchas otras medidas para disminuir la contaminación provocada por la construcción, operación y demolición de los proyectos, y por lo mismo los clientes y usuarios son mucho más exigentes con su cumplimiento, así como demandan que se sigan desarrollando más tecnologías verdes.

5.1 Criterios de evaluación

Para elegir los dos edificios a comparar, lo primero que se hizo fue hacer una búsqueda de cuál es el edificio que en México se considera como el más innovador en materia de sustentabilidad. Haciendo esto nos dimos cuenta de que era necesario hacer varios filtros puesto que existen al menos 310 edificaciones con certificaciones en sustentabilidad⁵¹. Se decidió que debía ser un edificio de uso comercial, más específicamente, de oficinas. La razón es que es un mercado que cada vez se va desarrollando más, y también porque presentan un panorama interesante para evaluar, al tener tantas áreas de oportunidad para hacerlos más ecológicos.

Una vez resuelta esta parte, y habiendo elegido el edificio construido en México, el hacer la búsqueda contra el que se le iba a comparar no fue sencillo. No estábamos limitados a un solo país, pero consideramos importante que las condiciones climatológicas no sean tan diferentes de las que se tienen en la Ciudad de México, ya que esto representa problemas para hacer la comparativa. Por ejemplo, en las ciudades donde nieva es indispensable contar con calefacción en el edificio, algo que en la CDMX no se tiene, por lo que hubiera representado un conflicto cuando se quisiera comparar el desempeño energético.

Se descartaron otros factores que, una vez analizados, consideramos que no representan una mejora o dificultad para aplicar la EC en la edificación. Por ejemplo, los sistemas antisísmicos con los que cuentan los edificios mexicanos son, además de necesarios, verdaderamente admirables. Sin embargo, su construcción si bien demanda un mayor número de recursos, no representan una mejora para la implementación de técnicas y sistemas sustentables, o ningún otro principio relacionado con la EC.

Una vez reducido el campo de búsqueda, hubo varios nombres que saltaron en la búsqueda: la Torre Reforma, el Edificio Dos Patios, y la Torre Virreyes por ejemplo. Todos ellos han recibido alguna certificación y tienen sistemas innovadores que les han permitido posicionarse como los más sustentables del país. Sin embargo, hubo uno que destacó por sobre todos ellos, ya que, entre otras cosas que se explicarán más a detalle, su certificación la obtuvo en su proceso de edificación, además de contar con sistemas verdes para sus

⁵¹Según *Las 10 principales certificaciones de edificios sostenibles en México*. (2022). Publicado por el Tecnológico de Monterrey

actividades en la operación. En otras palabras, el edificio fue pensado para ser sustentable desde su concepción como idea, y esto se ha mantenido a través de sus años operativos.

Tomando esto en cuenta, finalmente se decidió por un edificio de oficinas ubicado en España. Y una vez logrado esto, el verdadero reto fue pensar en los criterios que se iban a tomar en cuenta para hacer la comparación. Si lo que queremos comparar es cómo se aplicó la EC durante la construcción y operación de cada edificio, ¿cuáles son los indicadores que nos van a permitir medir esto? La respuesta: ya existe una herramienta que hace este trabajo, un instrumento de certificación que justamente había establecido las características más importantes a tener en cuenta y le otorgó una ponderación a cada una. Precisamente, ambos edificios cuentan con la misma clasificación: LEED Platinum, aunque con una diferencia importante de puntaje entre los dos.

Si bien LEED da una pauta sobre los indicadores a considerar, un factor importante a tener en cuenta es que estos dos edificios se construyeron con años de diferencia, y las reglas de la certificación se fueron actualizando, por lo que no se calificaron bajo el mismo estándar. Es debido a esto que lo que consideramos importante mencionar en las próximas páginas, más allá de basarnos en la puntuación de LEED, es explicar las implicaciones de estas afirmaciones y puntajes, así como su relación con la EC.

El edificio que elegimos, representando a México es la Torre BBVA, un símbolo de arquitectura e ingeniería modernos, que a pesar de haberse construido en un momento donde la sustentabilidad aún no cobraba la relevancia que tiene hoy en día, fue pensada, desde su concepto, como una oportunidad para innovar en este sector. Por otra parte, se eligió al Platinum BCN para ser su contraparte en esta comparación, el cual es considerado como el edificio de oficinas más sustentable del mundo, al tener el récord de puntuación de LEED para este tipo de edificación.

5.2 Torre BBVA México

Esta edificación fue comisionada por el banco español BBVA. En total, esta institución cuenta con cuatro inmuebles certificados en México: el Centro de Formación I, con LEED Oro; el Centro de Formación II, con LEED Plata; el Centro Operativo Bancomer, con LEED Oro; y la Torre BBVA, con LEED Platinum. A nivel mundial, cuenta con 14 inmuebles con diferentes rangos de la certificación LEED. Este hecho refleja la cultura de sustentabilidad que el banco ha logrado implementar en sus operaciones.

Por si fuera poco, el banco tiene una sección de su página web completamente dedicada a la sostenibilidad y banca responsable, donde detallan diferentes compromisos que han adquirido en favor de crear un mundo más verde. En esta sección incluye noticias relacionadas con el desarrollo en energías renovables, alternativas de transporte limpio, la forma en la que su cultura corporativa se relaciona con los recursos naturales del planeta, sus programas en pro de la sociedad, entre otros.

Entre esas otras categorías, dedican una de ellas a explicar qué es el modelo de Economía Circular, y algunos de los conceptos que se relacionan con este, como el reciclaje, la

producción y consumo responsables, entre otros. Su otra categoría relevante para este trabajo la titulan Infraestructura, donde comparten noticias sobre cómo se ha ido modificando la construcción sostenible, qué es la bioconstrucción, materiales sostenibles en el mundo, casas y ciudades sostenibles, entre muchas cosas más.

BBVA tiene muchos objetivos que van de la mano con la Agenda de Desarrollo Sostenible de la OMS. En 2018 se convirtió en la primera corporación financiera en México en ofrecer los llamados “bonos verdes”, que básicamente son préstamos económicos a una tasa de interés muy baja que busca impulsar aquellos proyectos que apoyen a la sostenibilidad. En total fueron 186 millones de dólares, de los cuales el 54% se invirtió en la creación y mejoramiento de edificios Low Carbon.

Además de esto, a través de los créditos corporativos verdes, impulsaron a empresas en la creación y desarrollo de sus tecnologías verdes. El primero fue para Iberdrola, una compañía dedicada a la producción, distribución y comercialización de energías renovables, por 400 millones de dólares en 2018. Otro préstamo importante fue para Grupo Altex, una empresa agroindustrial que elabora alimentos minimizando los impactos en el ambiente, por 10.6 millones de dólares en 2020.

5.2.1 Datos Generales

Después de analizar esta información, no es de extrañar que la empresa haya comisionado un cuartel general que expresara su preocupación por el medio ambiente. La historia de su Torre comienza en 2008, año cuando se publicó el concurso; en 2009 los ganadores firmaron el contrato; y en 2010 comenzó el proceso de construcción. En 2015 se termina de edificar, aunque su inauguración oficial fue en febrero de 2016. Por un momento fue considerada la más alta de México, aunque rápidamente fue vencida por la Torre Reforma.

En esta torre se consolidaron las operaciones de BBVA en la Ciudad de México desde siete edificios que antes operaban como oficinas centrales hasta este y sólo dos más.

En total se necesitaron 364 semanas, con un costo estimado de 13,000 dólares por metro cuadrado de construcción, para lograr edificar una de las torres más emblemáticas de la CDMX. Cuenta con 50 pisos, de 4.30 metros de altura cada uno, de los cuales 6 son de estacionamiento. En total, la superficie del edificio es de 188,777 metros cuadrados, algo sorprendente considerando que



Figura 5.1: Torre BBVA.
Fuente: Sitio web BBVA

el predio donde se levantó tan sólo mide 11,000 m2. Tiene 235 metros de altura. Cerca de 4,500 empleados ocupan actualmente esta torre.

Ubicada en Avenida Paseo de la Reforma no. 510, en la alcaldía Cuauhtémoc en la bella Ciudad de México. Este rascacielos fue desarrollado en conjunto por el reconocido arquitecto mexicano Ricardo Legorreta y el arquitecto británico Richard Rogers. Tiene una estructura mayormente de acero, cuyo diseño estuvo a cargo de la empresa Arup, una empresa que presta servicios profesionales de ingeniería, diseño, planificación, gestión de proyectos y servicios de consultas. Esta empresa también fue la responsable de la ingeniería mecánica, eléctrica y de la plomería. También participó la empresa mexicana Colinas de Buen, para la parte de ingeniería sísmica.

5.2.2 Arquitectura y Amenidades

El inmueble marca la entrada hacia el Bosque de Chapultepec, lo cual ofrece a los usuarios el poder ver desde los pisos superiores el contraste de la ajetreada ciudad de un lado, y del otro el bosque. Su arquitectura fue pensada para crear una sensación de comunidad entre los empleados, ya que en la planta baja, una vez pasada la entrada de triple altura, se llevan a cabo las operaciones cotidianas de cualquier sucursal bancaria, mientras que unos pisos más arriba se desarrollan los negocios comerciales.

Representado de una manera modernista, y haciendo honor a los colores oficiales del banco, el diseño exterior de la torre busca hacer honor a uno de los elementos más típicos de la cultura mexicana: el papel picado. Además, se buscó el contraste del color azul, que representa confianza, estabilidad y sobriedad, con elementos de colores vivos que representan a México, como se ve en la imagen, a través de tres conjuntos de escaleras: anaranjadas, amarillas y rosas.



Figura 5.2: Detalle del diseño exterior del edificio.
Fuente: Fotografía tomada por Terri Meyer Boake publicada en el sitio de Skyscraper Center

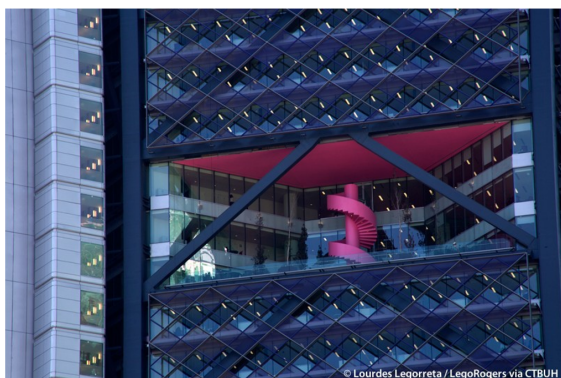


Figura 5.3: Escaleras de la fachada principal.
Fuente: Fotografía tomada por Lourdes Legorreta, publicada en el sitio LegoRogers

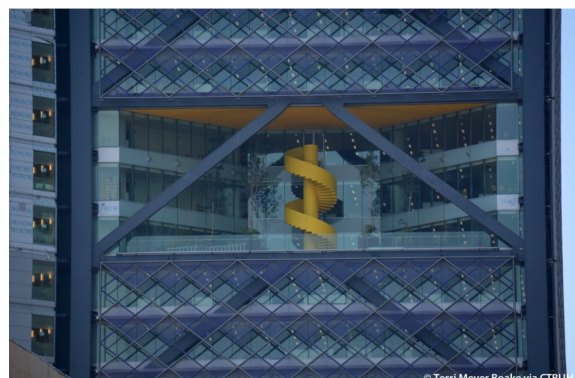


Figura 5.4: Escaleras de la fachada principal.
Fuente: Fotografía tomada por Terri Meyer Boake, publicada en el sitio Skyscraper Center

La torre cuenta con elevadores de paredes de cristal, que permiten tener una vista panorámica del bosque. Estos llegan hasta el doceavo piso, donde pueden acceder tanto empleados como visitantes, y este espacio sirve como un hall con terrazas con vistas hermosas hacia Chapultepec. En la zona del vestíbulo es común que haya exposiciones o eventos, y se cuenta también con un auditorio y cafetería. Estos también están pintados con colores vivos, especialmente anaranjado. Todo el edificio cuenta con el estilo minimalista que es tan característico de Legorreta. La disposición del espacio en el inmueble gira en torno a un núcleo central de servicios, que corre diagonalmente en la planta y permite mayor flexibilidad de uso de espacios.

Los ejecutivos y algunos clientes pueden utilizar los niveles de estacionamiento dentro de la torre, y pueden acceder a las instalaciones a través de un lobby separado en la primera planta, permitiendo así un acceso más discreto hacia los pisos superiores e incluso las zonas públicas.

El edificio además cuenta con una serie de jardines elevados. A partir del nivel 12, cada noveno piso cuenta con un área común de 3 niveles de altura y jardín. La intención de esto es que el lugar de trabajo se agrupe en comunidades verticales, para reforzar el sentido de comunidad de trabajo de la cultura del banco. Adicionalmente, en el último piso de la torre se encuentra un helipuerto.



Figura 5.5: Terraza en el piso 12 de la Torre BBVA
Fuente: Fotografía tomada por Mark Gorton, publicada en el sitio LegoRogers

5.2.3 Ingeniería estructural y sísmica

Es innegable que este edificio es una pieza arquitectónica de gran relevancia y que fue cuidadosamente diseñada para ser un ícono en la ciudad. Sin embargo, al estar situada en una ciudad de tan alta sismicidad como lo es el Valle de México, ocupando el sexto lugar de las torres más altas del país, la ingeniería detrás de ella es igualmente fascinante. Con 50 niveles sobre nivel de terreno, y 6 más debajo, esta torre requirió de dos elementos que en conjunto fueran capaces de soportar los movimientos de las placas tectónicas: un sistema estructural que permitiera al edificio tener la flexibilidad para seguir estos movimientos, y una cimentación que dirigiera la energía generada hacia una capa del subsuelo estable.



Figura 5.6: Arriostramientos estructurales.
Fuente: Torre BBVA Bancomer. Por el Canal de YouTube: Estructuristeando

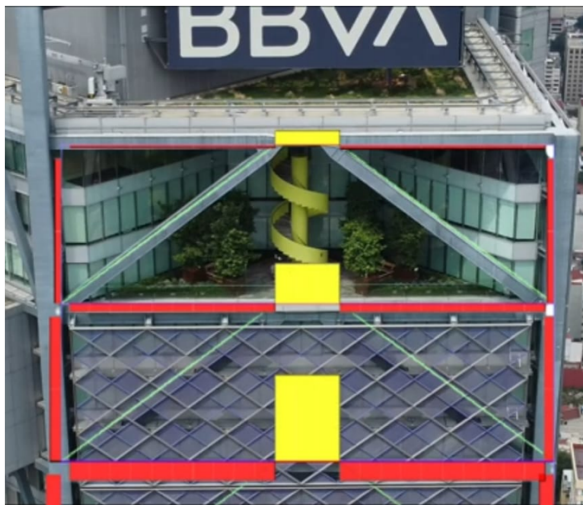


Figura 5.7: Diagrama de cortantes.
Fuente: Torre BBVA Bancomer. Por el Canal de YouTube: Estructuristeando.



Figura 5.8: Diagrama de momentos.
Fuente: Torre BBVA Bancomer. Por el Canal de YouTube: Estructuristeando.

Su estructura está conformada por marcos de acero en la zona central, donde posteriormente se unen con los mega marcos exteriores, que cuentan con arriostramiento excéntrico, nombre que se les da debido a la separación que existe entre las diagonales, como se puede apreciar en la Figura 5.6. Los arriostramientos se colocan de tal forma que en las zonas rojas (espacios entre diagonales), conocidos como puntos fusibles, se genere el mayor esfuerzo por las fuerzas cortantes (Figura 5.7) y momentos flexionantes (Figura 5.8) que se originan al momento de un sismo.

Para contrarrestar, estas zonas están diseñadas para que tengan un comportamiento de deformación plástica, lo que impide que el acero recupere su forma inicial debido al esfuerzo excesivo al que está sometido. Esto se hace para disipar la energía del movimiento, lo cual es la razón por la que, en caso de que estos puntos fusibles alcancen el comportamiento plástico deberán ser reemplazados después del siniestro. Por otra parte, todos los demás elementos del marco están diseñados para comportarse elásticamente, evitando así modos de falla no deseados. En conjunto, se tienen componentes estructurales rígidos que limitan el movimiento, y otros que disipan la energía cinética de estos. A este sistema estructural se suman seis mega columnas, que se ven desde el exterior del edificio, rellenas de concreto armado y de aproximadamente 2.5 m² de base. Estas se reparten todo el peso de la torre, lo que permite que los espacios sean abiertos y no requieran de más columnas. En caso de sismo, estas actúan como pequeños núcleos que estabilizan los pisos y el interior de cada planta, lo que significa que actúan como amortiguadores del movimiento. Aún así, al liberarse la carga sísmica, el extremo superior de la torre puede llegar a oscilar hasta 1.5 m. Es gracias a su esqueleto exterior de acero que puede moverse bruscamente, sin colapsar.

La cimentación de la torre es a base de muros Milán, con una losa de fondo, y esto da la forma del cajón de cimentación (este ayuda a resistir los empujes del suelo y de las aguas subterráneas). Los muros se apoyan sobre pilotes de cimentación, así como también lo hacen las columnas interiores. Estos pilotes a su vez se apoyan en un sustrato del subsuelo a 50 metros de profundidad, a donde transmiten las cargas y el peso del sistema estructural.

Esta forma de cimentar es muy parecida a la que se tiene en la Torre Latinoamericana, que también ha soportado ya de varios sismos sin daños considerables a su estructura. En la Figura 5.9 se muestra toda la ingeniería antisísmica descrita.

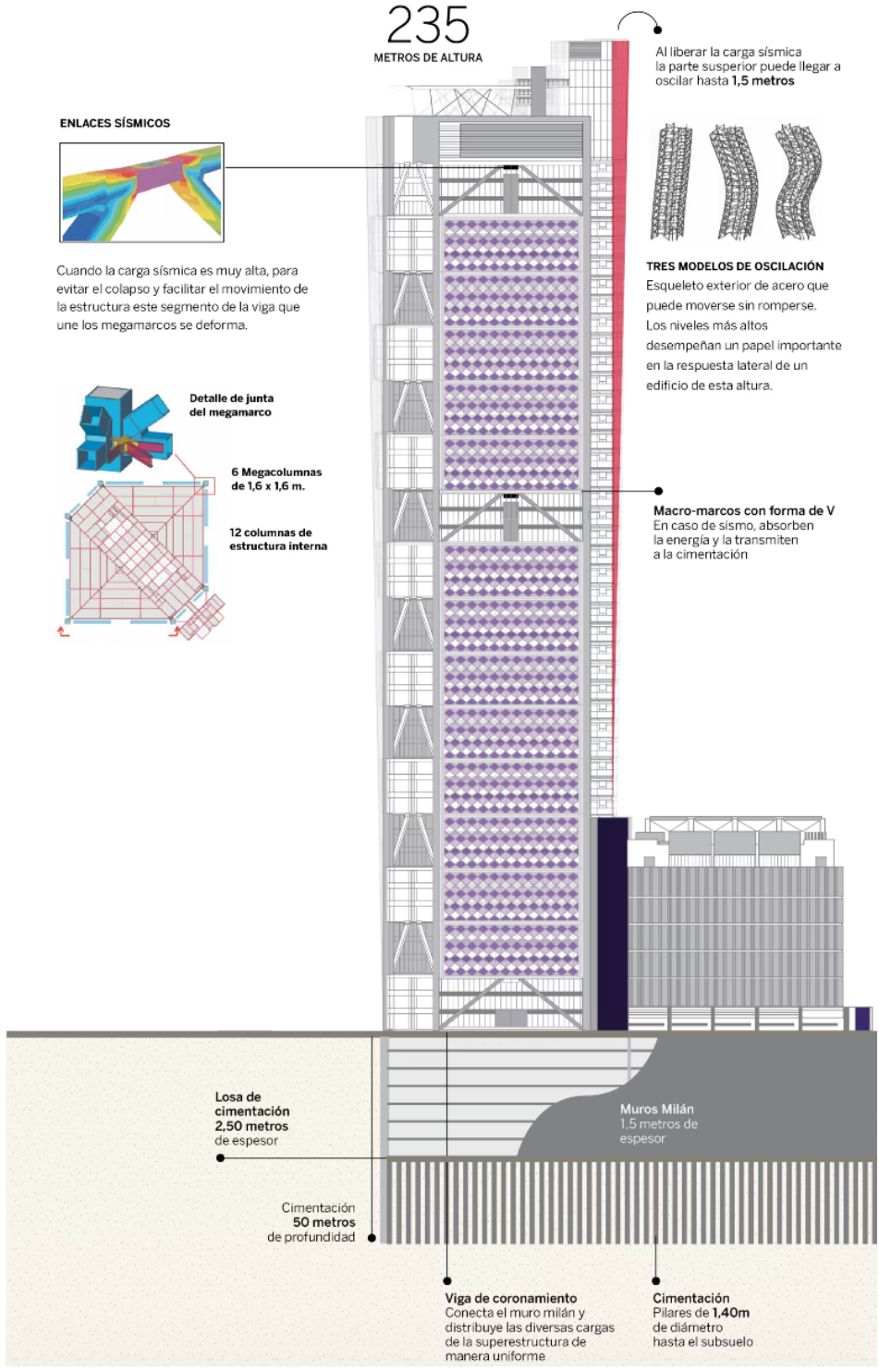


Figura 5.9: Medidas antisísmicas de la Torre BBVA
Fuente: Diagrama elaborado por BBVA Bancomer, publicado en su página web

5.3 Platinum BCN

Este complejo de oficinas fue conceptualizado y llevado a la realidad por Barcelonesa de Inmuebles, una empresa que empezó como un negocio familiar que ha crecido hasta establecerse como una de las compañías de más experiencia en el sector inmobiliario en los 60 años que lleva existiendo. Sus actividades son diversas, ya que hacen proyectos de gestión del suelo, la renta de espacios de oficinas, la industria hotelera, y el diseño de edificaciones innovadoras tecnológica y ambientalmente, además de que con sus edificios buscan mejorar la vida de las personas que lo rodean. Sus tres pilares son la sostenibilidad, innovación y el bienestar, y si bien no tienen un apartado específico en su página para hablar de cada uno de ellos a profundidad, sus valores están muy apegados a los que promueve el modelo de EC.

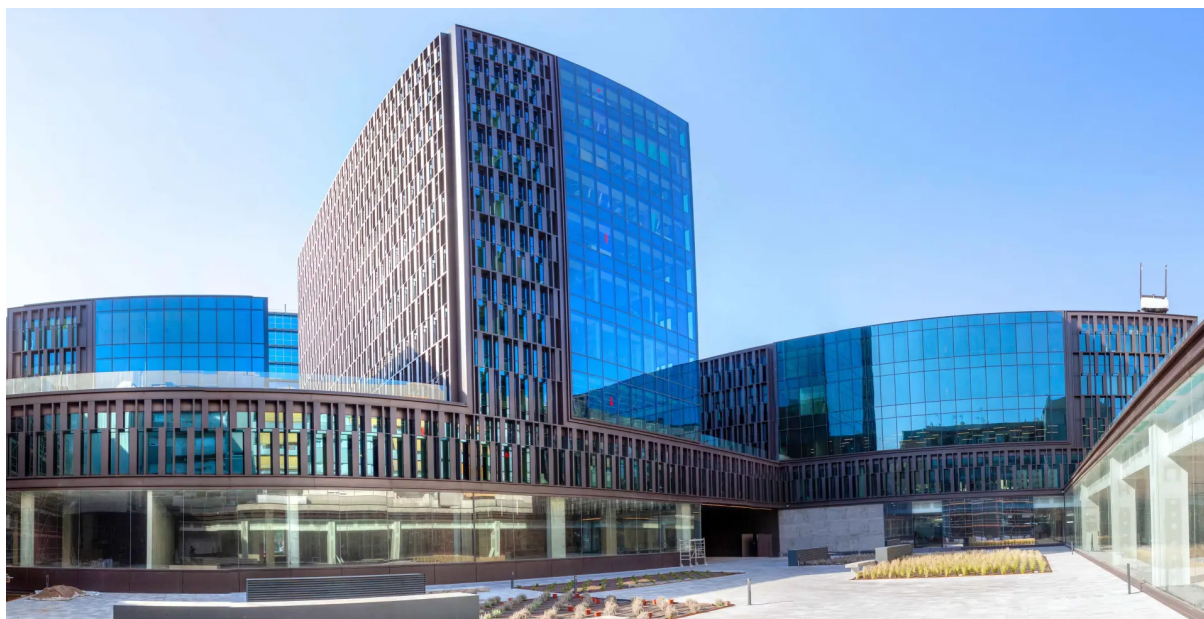


Figura 5.10: Complejo de oficinas Platinum BCN.
Fuente: Página oficial del Platinum BCN

Aunque esta empresa tiene mucha experiencia, cuando se revisa su catálogo de activos inmobiliarios es posible ver que el Platinum BCN es el único de sus proyectos que cuenta con alguna certificación sustentable hasta ahora. Esto da una idea del reto que debió haber presentado, pero la compañía no tuvo miedo de aceptarlo y superarlo con creces. Desde que eligieron el nombre de esta edificación tenían en la mira que su meta era no sólo conseguir la certificación LEED, sino que querían hacerlo en la más alta categoría. Y en el proceso terminaron por construir el edificio de oficinas con la mayor puntuación LEED que existe hasta este momento.

Al momento de generar la lluvia de ideas de lo que esperaban crear, no dejaron de lado la estética lujosa y exclusiva que buscarían sus potenciales clientes. Tras haber estado tanto tiempo en la industria inmobiliaria, el saber los factores que facilitan la renta de espacios de oficinas les brindó una gran ventaja. Ya conocían bien a su mercado y por primera vez en su historia no iban solamente a promover un edificio, sino que ellos mismos podían añadir

todas las características en las que saben que su mercado está interesado. Esto no quiere decir que se haya tratado de una tarea sencilla, pero una vez identificadas las necesidades de los clientes es más probable que se pueda fabricar un producto de calidad que las satisfaga y vaya un paso más allá.

5.3.1 Datos Generales

Inaugurado en 2016, con una inversión de alrededor de 70 millones de euros, cuenta con 37,000 m² de superficie. El complejo ha tenido un 100% de ocupación desde su inauguración hasta la fecha, inclusive con la pandemia de Covid-19 en el 2020, fueron muy pocas las empresas que cedieron su espacio en el edificio, ya que sabían que aunque no estuvieran utilizando las instalaciones del complejo en ese momento, una vez todo volviera a la normalidad iba a ser imposible volver a alquilar su espacio, puesto que la demanda es tan alta que existe una lista de espera.



Figura 5.11: Vista del complejo de oficinas Platinum BCN.
Fuente: Página oficial del Platinum BCN.

Esto refleja uno de los puntos que anteriormente se trató en otro capítulo: la existencia de usuarios dispuestos a pagar el sobrecosto de un lugar innovador y sustentable, que a su vez mejora su imagen como empresa. Estas compañías valoran tanto el poder tener su cuartel de operaciones en un edificio de tan alta gama como lo es el Platinum BCN que hicieron el esfuerzo por mantenerlo aún sabiendo que existían lugares mucho más económicos, pero que no les daban ese valor añadido que ellos estaban buscando.

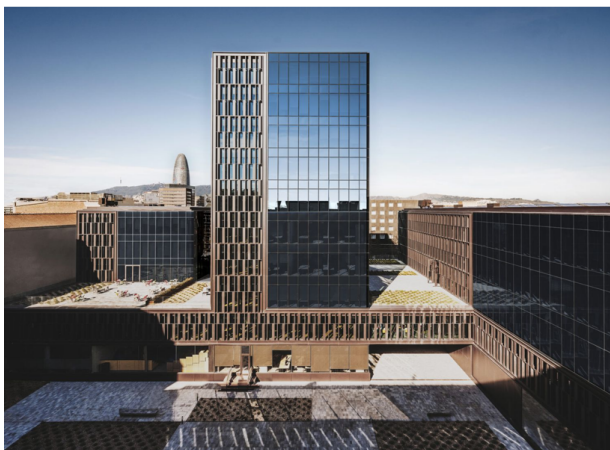


Figura 5.12: Vista de una de las torres del complejo de oficinas Platinum BCN.
Fuente: Página oficial del Platinum BCN.

Algunas de las empresas que actualmente alquilan un espacio dentro del edificio son: Amazon (corporación estadounidense de comercio electrónico y servicios de computación en la nube), WeWork (compañía estadounidense dedicada a prestar un espacio de oficinas y salas de juntas para empresas o personas físicas), Glovo (empresa española que ofrece servicios de entrega a domicilio, sobre todo de comida de restaurantes y dark kitchens), N26 (un banco alemán digital de bajo coste), e inclusive el Ayuntamiento de la ciudad.

Este inmueble está ubicado en la calle de Pallars no. 190, en el 22@ de Barcelona, España. Desarrollada por Barcelonesa de Inmuebles, con el diseño del estudio de arquitectura GCA. La ingeniería estructural, mecánica, eléctrica y de la plomería estuvo a cargo de la empresa

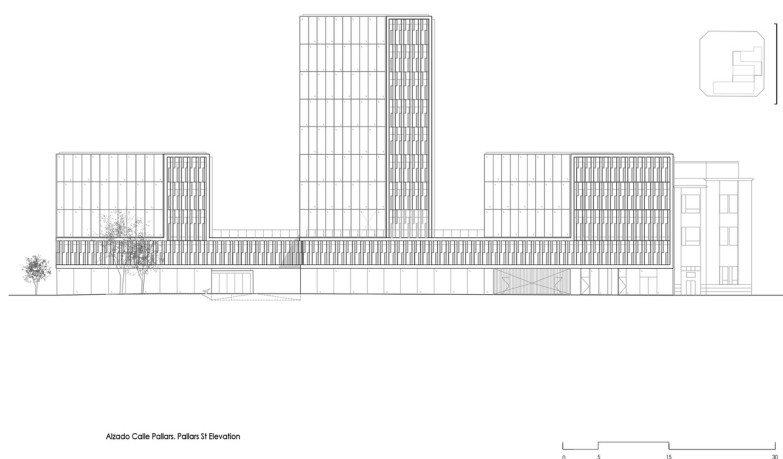
PGI Engineering & Consulting. Esta también se especializa en brindar soluciones respecto a la eficiencia energética y otros aspectos de sustentabilidad.

5.3.2 Arquitectura y Amenidades

Desde el concepto de este edificio, se sabía que el objetivo final era lograr que tuviera la demanda mínima de energía, y para lograrlo los principios básicos eran claros: debía responder al entorno urbano y a los usos propios del edificio, aprovechando la ventilación, iluminación, orientación, y demás conceptos biofílicos del diseño arquitectónico.

Tres torres de vidrio son las que constituyen el proyecto, estas tienen diferentes alturas e intersectan en un zócalo de lamas de aluminio. Además, el espacio cuenta con tres áreas verdes cuyo propósito es reducir el calor y crear un espacio de convivencia entre los usuarios del edificio. Otro espacio común lo conforman dos terrazas al aire libre. Es así que el 20% del espacio del proyecto son espacios verdes y reducen considerablemente la ola de calor generada.⁵²

Hablando de las torres, estas están diseñadas de tal forma que todos los espacios de trabajo cuenten con iluminación natural y vista al exterior, gracias al desnivel de altura que



existe entre ellas ninguna le obstruye estos recursos a las demás. Como la mayoría de torres tradicionales, su núcleo se encuentra al centro del edificio, conteniendo servicios como los ascensores y baños, mientras que el área de oficinas le rodea, teniendo así acceso a la fachada de vidrio que vemos en la Figura 5.13.

Figura 5.13: Plano arquitectónico de fachada del Platinum BCN.
Fuente: Página oficial del Platinum BCN.

Los dos materiales predominantes en la construcción son el aluminio y el vidrio, estos fueron seleccionados debido a que anteriormente la zona donde se edificó era sumamente industrial, aunque actualmente es posible encontrar más edificios de oficinas y otros comercios, se buscó hacer un pequeño homenaje al pasado industrializado del distrito. Gracias a este tipo de desarrollos se ha logrado un crecimiento urbano, económico y social sin precedentes, donde el distrito @22 se ha convertido en una zona de congregación entre la vida personal y los negocios, donde el lugar donde las personas trabajan, y los centros de entretenimiento conviven en una misma zona perfectamente conectada a través del transporte público.

⁵²Según los datos de *Edificio Platinum*. (2021). Por Matter Atelier S.L.

5.3.3 Ingeniería estructural y energética

Barcelona no es una ciudad que se preocupe por tener eventos sísmicos, ya que a diferencia de la Ciudad de México, ellos no se encuentran sobre ningún Cinturón donde interactúen las placas tectónicas, por lo que ninguno de sus edificios cuenta con sistemas antisísmicos como el descrito para la Torre BBVA. Eso no quiere decir que la ingeniería tras el Platinum BCN no sea muy compleja e interesante, solamente que se enfoca más hacia los métodos de eficiencia energética.

Gracias a la utilización de estos, el edificio tiene un 45% de ahorro energético, y el 100% de su producción de energía es, por un lado a través de paneles fotovoltaicos in situ, y otra parte generada a través de otras fuentes renovables. También los materiales utilizados para su construcción fueron pensados para eficientar el uso de la energía, ya que, por ejemplo, la capa de aluminio que recubre el edificio actúa como una especie de adobe piel que produce un aislamiento térmico que hace más fácil la retención de la temperatura en el edificio y así disminuye los requerimientos de uso tanto de aire acondicionado como de calefacción.

El proyecto también cuenta con un sistema de retención de aguas pluviales, esto se hace en las azoteas de las torres y se utilizan para el riego de las zonas de vegetación, eliminando así por completo la necesidad de utilizar agua potable para este fin.

Hablando estructuralmente, todas las torres cuentan con el arreglo de núcleo central que se mencionó anteriormente. En la Figura 5.14 podemos observar la distribución de la primera planta de las tres torres, que se repite para todos los pisos. La cimentación del edificio se hizo con un sistema de pilares y vigas unidas por zapatas de concreto armado debajo de cada pila. Esta forma de cimentar es tradicional para edificios de media altura en la ciudad de Barcelona.

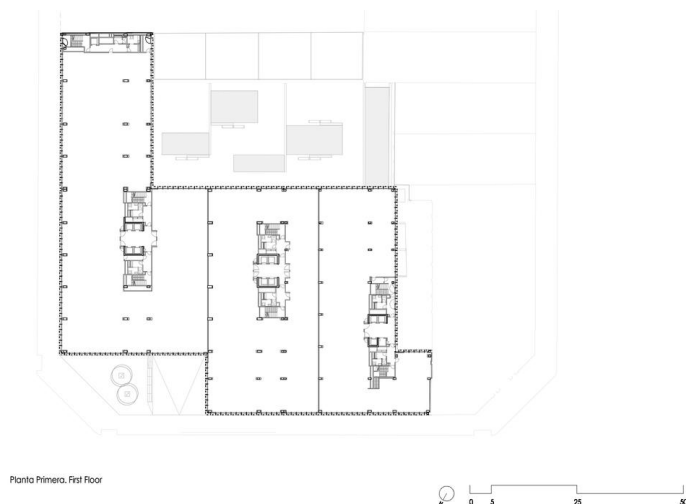


Figura 5.14: Plano arquitectónico de la planta baja del Platinum BCN.
Fuente: Página oficial del Platinum BCN.

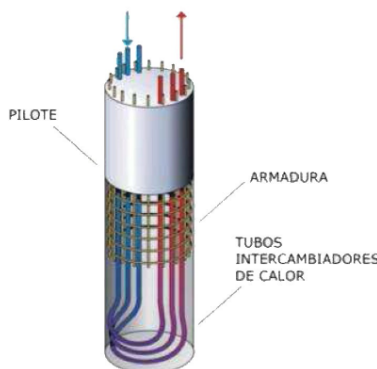


Figura 5.15: Estructura de un pilote con sistema geotérmico.
Fuente: Diagrama elaborado y publicado por Green Barcelona.

Sin embargo, esta estructura en particular cuenta con un innovador sistema de cimentación termoactiva que facilita el aprovechamiento de la energía geotérmica del suelo. Así, además de su función de transmitir las cargas y el peso del edificio, estos pilotes captan calor del subsuelo o lo ceden al mismo, para la obtención de energía para climatización de edificios. Este proceso ocurre gracias a los tubos intercambiadores de calor que se observan en la Figura 5.15, hechos de polietileno y a través de los cuales circula agua

con anticongelante que produce el intercambio de calor entre el fluido y el terreno que le rodea. Posteriormente este líquido es bombeado, generando suficiente energía para la mayor parte de la climatización.

Otra parte de la ingeniería aplicada a esta estructura tiene que ver con el método que se siguió para su gestión, ya que el despacho encargado de la arquitectura y algunos aspectos de la ingeniería del Platinum BCN, GCA Architects, es una firma española con gran reconocimiento y potencial internacional, gracias a su excelente implementación de la Metodología BIM en cada uno de sus proyectos y en su organización como empresa. Esto ha logrado que cada vez más de sus edificios cuenten con certificaciones como lo son LEED y WELL, pero también le garantizan al cliente el sello Wired Score, que es el reconocimiento de la empresa que lleva el mismo nombre y se dedica a medir la conectividad digital y la tecnología inteligente instalada en edificios residenciales y comerciales.

5.4 Análisis comparativo de los principios de la Economía Circular aplicados en la construcción y operación de la Torre BBVA y el complejo de oficinas Platinum BCN

El propósito de este apartado no es señalar cuál de los dos es mejor o más innovador, ni siquiera cuál de ellos es más sustentable. Debe entenderse que cada uno, por su localización, legislación aplicable y fenómenos naturales a los que está sometido, tiene diferentes necesidades que cubrir y por lo tanto diferentes estrategias para lograrlo. Uno de muchos ejemplos es que mientras que en la Ciudad de México las cimentaciones deben ser diseñadas para soportar las cargas accidentales de los sismos, la ciudad de Barcelona se debe preocupar por encontrar formas de disminuir el consumo energético de la calefacción utilizada durante todo el invierno.

Las dos ciudades son relativamente parecidas en el clima y las temperaturas que se perciben a lo largo del año, la CDMX tiene temperaturas que van de los 5 a los 27° C en promedio anual, mientras que en Barcelona son de 5 a 28°C. La razón por la que la ciudad española sí requiere de calefacción en sus edificios es porque tiene un clima más húmedo que hace que la sensación térmica sea mucho más fría.

Dicho esto, existe una gran cantidad de información sobre los aspectos sustentables de las edificaciones mencionadas, por lo que se decidió resumirla en una tabla, además esto facilita mucho la comparativa. Esta contiene el nombre del indicador que se está evaluando, y dos columnas con el detalle de cómo se abordó según el proyecto.

Para garantizar que dichos indicadores presenten información relevante y medible, algunos de estos se basaron en los que se evalúan en la certificación LEED, con la que cuentan ambos edificios en la categoría Platinum. Como ya se describió en el capítulo 4, las certificaciones para edificios sustentables basan muchos de sus criterios en la reutilización y eficiencia de recursos utilizados durante su construcción y el cómo siguen aprovechando la energía y otros recursos durante su operación, que es el pilar fundamental para implementar

el modelo de EC en el sector de la edificación., junto con la disminución de los residuos provocados por esta.

5.4.1 LEED Scorecard

Actualmente el edificio de oficinas con la puntuación LEED más alta del mundo es el Platinum BCN, con 101 puntos sobre 110 cuando se certificó en junio de 2019. En comparación, la Torre BBVA obtuvo 52 puntos sobre 69, y su certificación se hizo oficial en febrero de 2018. Al haber un año y medio de diferencia entre la aplicación y evaluación de criterios, esta se hizo bajo diferentes versiones de la guía LEED, México obtuvo su puntaje bajo la versión 2 mientras que el edificio español lo hizo bajo la versión 3. Sin embargo, ambas obtuvieron la categoría Platinum en sus respectivas evaluaciones.

Haciendo una relación de equivalencia, podemos decir que bajo la versión 3 del manual es como si la Torre BBVA hubiera obtenido 83 puntos. La única categoría que no se encuentra en la versión 2 es la de Prioridad Regional, pero en las notas de la versión 3 se menciona que anteriormente se incluía a esta en la categoría de Sitios Sustentables.

Si analizamos lado a lado las scorecards de cada proyecto (Figura 5.16 y Figura 5.17), se ve que en las categorías de eficiencia hídrica (10/10 puntos), materiales y recursos (7/13) e innovación (6/6) obtuvieron el mismo puntaje.⁵³ Hay otras categorías donde apenas hay un par de puntos de diferencia, pero donde verdaderamente hay una diferencia considerable de 7 puntos, es en la de Energía y Atmósfera. Si se revisa el detalle, se puede ver que esto se debe a la subcategoría de Generación de Energía Renovable en sitio, con la cual la Torre BBVA no cuenta pero el Platinum BCN sí, gracias a su sistema de cimentación termoactiva.

El Platinum BCN obtuvo una mejor calificación en todas las categorías, donde la diferencia de puntos fue como se explica a continuación: como Sitio Sustentable, los puntajes fueron de 24/28 vs 28/28, y se debe a tres razones, la primera es que la Platinum BCN aprovechó una instalación existente, sobre la cual realizaron modificaciones, al contrario de la Torre BBVA, que fue una construcción nueva.

El segundo factor fue que el Platinum BCN tiene elementos que le permiten reducir su contaminación lumínica, como que sus ventanas no reflejan por completo la luz solar y no cuenta con iluminación exterior notable durante la noche; en comparación la Torre BBVA tiene una serie de focos LED en toda su fachada que presenta diferentes diseños, y aunque verla iluminada de noche es todo un espectáculo, esto es perjudicial para el ambiente nocturno y aumenta el sky glow.

Por último, el edificio español cumplió con la categoría de Guía de Diseño y Construcción, lo que significa que entregó en un documento todas las formas en las que se iban a implementar principios de sustentabilidad en el edificio, incluyendo los objetivos que se habían fijado en cuanto a los porcentajes de uso de energías renovables, materiales reciclados, entre otros. Esto se hace con la finalidad de lograr que las edificaciones sean

⁵³ Los puntajes de la Torre BBVA son equivalentes para poder ser comparados según la versión 3 de la Guía LEED.

conceptualizadas como sustentables desde la fase de planificación y que se puedan proponer estrategias y metodologías desde su diseño. Cabe resaltar que este punto no existía en la versión 2 de la Guía LEED, pero por la calidad de la construcción de la Torre BBVA y su buena planificación y diseño ambientales es posible adivinar que también hubiera obtenido el punto en este rubro.

En la categoría de Calidad Ambiental Interior, la diferencia de puntaje fue de 11/12 vs 8/12. La Torre BBVA no obtuvo ningún punto por el Control de los Sistemas de Iluminación, dicha categoría dice que al menos el 90% de los usuarios del edificio deberían poder tener acceso a regular el sistema de iluminación que les afecte en su lugar de trabajo, ajustándolo según sus necesidades y preferencias tanto grupales como individuales. Existe otro rubro que aplica para la regulación de la calefacción y aire acondicionado en el espacio de trabajo, pero ninguno de los dos proyectos lo obtuvo.

La Torre BBVA tampoco obtuvo los puntos de Diseño y Verificación de los Sistemas de Temperatura, que requiere que se estén evaluando continuamente las necesidades de los usuarios para ir adaptando el aire acondicionado y la calefacción según la hora del día, el espacio, el número de personas, etc. Por último, no cumplió con el rubro de Luz Natural, que pide que al menos el 75% de los espacios de trabajo tengan acceso a la luz natural del sol. El complejo Platinum BCN sí cumplió con todos estos requerimientos y por lo tanto obtuvo los puntos.

Por último, como se mencionó antes, la categoría de Prioridad Regional no existía en la versión 2 de la Guía LEED, pero evalúa la optimización de la eficiencia energética, la generación de energías renovables en sitio, la eliminación del uso de agua potable para riego de áreas verdes o actividades similares, una reducción general en el uso del agua, el uso de tecnologías innovadoras para el tratamiento de aguas residuales, y la creación y validación de un sistema de medición efectivo para monitorear el rendimiento de la energía y otros indicadores (lo cual incluye la compra, instalación, calibración y mantenimiento de los equipos necesarios para hacer las mediciones). En total son 6, pero para que se otorgue la puntuación máxima solamente es necesario cumplir con 4 de estos. El Platinum BCN lo hizo con los primeros cuatro.



Torre BBVA Bancomer

LEED BD+C: New Construction (v2.2)

PLATINUM, AWARDED FEB 2018



SUSTAINABLE SITES

AWARDED: 12 / 14

Code	Description	Status
SSp1	Construction activity pollution prevention	REQUIRED
SSc1	Site selection	1 / 1
SSc2	Development density and community connectivity	1 / 1
SSc3	Brownfield redevelopment	0 / 1
SSc4.1	Alternative transportation - public transportation access	1 / 1
SSc4.2	Alternative transportation - bicycle storage and changing rooms	1 / 1
SSc4.3	Alternative transportation - low emitting and fuel efficient vehicles	1 / 1
SSc4.4	Alternative transportation - parking capacity	1 / 1
SSc5.1	Site development - protect or restore habitat	1 / 1
SSc5.2	Site development - maximize open space	1 / 1
SSc6.1	Stormwater design - quantity control	1 / 1
SSc6.2	Stormwater design - quality control	1 / 1
SSc7.1	Heat island effect - non-roof	1 / 1
SSc7.2	Heat island effect - roof	1 / 1
SSc8	Light pollution reduction	0 / 1



MATERIAL & RESOURCES

CONTINUED

MRc3.1	Materials reuse - 5%	0 / 1
MRc3.2	Materials reuse - 10%	0 / 1
MRc4.1	Recycled content - 10% (post-consumer + 1/2 pre-consumer)	2 / 1
MRc4.2	Recycled content - 20% (post-consumer + 1/2 pre-consumer)	0 / 1
MRc5.1	Regional materials - 10% extracted, processed and manufactured regiona...	1 / 1
MRc5.2	Regional materials - 20% extracted, processed and manufactured regiona...	1 / 1
MRc6	Rapidly renewable materials	0 / 1
MRc7	Certified wood	1 / 1



INDOOR ENVIRONMENTAL QUALITY

AWARDED: 10 / 15

EQp1	Minimum IAQ performance	REQUIRED
EQp2	Environmental Tobacco Smoke (ETS) control	REQUIRED
EQc1	Outdoor air delivery monitoring	1 / 1
EQc2	Increased ventilation	1 / 1
EQc3.1	Construction IAQ Mgmt plan - during construction	1 / 1
EQc3.2	Construction IAQ Mgmt plan - before occupancy	1 / 1
EQc4.1	Low-emitting materials - adhesives and sealants	1 / 1
EQc4.2	Low-emitting materials - paints and coatings	1 / 1
EQc4.3	Low-emitting materials - carpet systems	1 / 1
EQc4.4	Low-emitting materials - composite wood and a grifiber products	1 / 1
EQc5	Indoor chemical and pollutant source control	1 / 1
EQc6.1	Controllability of systems - lighting	0 / 1
EQc6.2	Controllability of systems - thermal comfort	0 / 1
EQc7.1	Thermal comfort - design	0 / 1
EQc7.2	Thermal comfort - verification	0 / 1
EQc8.1	Daylight and views - daylight 75% of spaces	0 / 1
EQc8.2	Daylight and views - views for 90% of spaces	1 / 1



INNOVATION

AWARDED: 5 / 5

IDc1	Innovation in design	1 / 1
IDc2	LEED Accredited Professional	1 / 1



WATER EFFICIENCY

AWARDED: 5 / 5

WEc1.1	Water efficient landscaping - reduce by 50%	1 / 1
WEc1.2	Water efficient landscaping - no potable water use or no irrigation	1 / 1
WEc2	Innovative wastewater technologies	1 / 1
WEc3.1	Water use reduction - 20% reduction	1 / 1
WEc3.2	Water use reduction - 30% reduction	1 / 1



ENERGY & ATMOSPHERE

AWARDED: 13 / 17

EAp1	Fundamental commissioning of the building energy systems	REQUIRED
EAp2	Minimum energy performance	REQUIRED
EAp3	Fundamental refrigerant Mgmt	REQUIRED
EAc1	Optimize energy performance	9 / 10
EAc2	On-site renewable energy	0 / 3
EAc3	Enhanced commissioning	1 / 1
EAc4	Enhanced refrigerant Mgmt	1 / 1
EAc5	Measurement and verification	1 / 1
EAc6	Green power	1 / 1



MATERIAL & RESOURCES

AWARDED: 7 / 13

MRp1	Storage and collection of recyclables	REQUIRED
MRc1.1	Building reuse - maintain 75% of existing walls, floors & roof	0 / 1
MRc1.2	Building reuse - maintain 95% of existing walls, floors & roof	0 / 1
MRc1.3	Building reuse - maintain 50% of interior non-structural elements	0 / 1
MRc2.1	Construction waste Mgmt - divert 50% from disposal	1 / 1
MRc2.2	Construction waste Mgmt - divert 75% from disposal	1 / 1

TOTAL

52 / 69

Figura 5.16: LEED Scorecard de la Torre BBVA Bancomer
Fuente: LEED Project Profiles (s.f.) Usgbc



PLATINUM-BCN
LEED BD+C: Core and Shell (v2009)

PLATINUM, AWARDED JUN 2019



SUSTAINABLE SITES

AWARDED: 28 / 28

SSp1	Construction activity pollution prevention	REQUIRED
SSc1	Site selection	1 / 1
SSc2	Development density and community connectivity	5 / 5
SSc3	Brownfield redevelopment	1 / 1
SSc4.1	Alternative transportation - public transportation access	6 / 6
SSc4.2	Alternative transportation - bicycle storage and changing rooms	2 / 2
SSc4.3	Alternative transportation - low-emitting and fuel-efficient vehicles	3 / 3
SSc4.4	Alternative transportation - parking capacity	2 / 2
SSc5.1	Site development - protect or restore habitat	1 / 1
SSc5.2	Site development - maximize open space	1 / 1
SSc6.1	Stormwater design - quantity control	1 / 1
SSc6.2	Stormwater design - quality control	1 / 1
SSc7.1	Heat island effect - nonroof	1 / 1
SSc7.2	Heat island effect - roof	1 / 1
SSc8	Light pollution reduction	1 / 1
SSc9	Tenant design and construction guidelines	1 / 1



MATERIAL & RESOURCES

CONTINUED

MRC3	Materials reuse	0 / 1
MRC4	Recycled content	2 / 2
MRC5	Regional materials	2 / 2
MRC6	Certified wood	1 / 1



INDOOR ENVIRONMENTAL QUALITY

AWARDED: 11 / 12

EQp1	Minimum IAQ performance	REQUIRED
EQp2	Environmental Tobacco Smoke (ETS) control	REQUIRED
EQc1	Outdoor air delivery monitoring	1 / 1
EQc2	Increased ventilation	1 / 1
EQc3	Construction IAQ Mgmt plan - during construction	1 / 1
EQc4.1	Low-emitting materials - adhesives and sealants	1 / 1
EQc4.2	Low-emitting materials - paints and coatings	1 / 1
EQc4.3	Low-emitting materials - flooring systems	1 / 1
EQc4.4	Low-emitting materials - composite wood and agri-fiber products	1 / 1
EQc5	Indoor chemical and pollutant source control	1 / 1
EQc6	Controllability of systems - thermal comfort	0 / 1
EQc7	Thermal comfort - design	1 / 1
EQc8.1	Daylight and views - daylight	1 / 1
EQc8.2	Daylight and views - views	1 / 1



WATER EFFICIENCY

AWARDED: 10 / 10

WEp1	Water use reduction	REQUIRED
WEc1	Water efficient landscaping	4 / 4
WEc2	Innovative wastewater technologies	2 / 2
WEc3	Water use reduction	4 / 4



INNOVATION

AWARDED: 6 / 6

IDc1	Innovation in design	1 / 1
IDc2	LEED Accredited Professional	1 / 1



ENERGY & ATMOSPHERE

AWARDED: 35 / 37

EAp1	Fundamental commissioning of building energy systems	REQUIRED
EAp2	Minimum energy performance	REQUIRED
EAp3	Fundamental refrigerant Mgmt	REQUIRED
EAc1	Optimize energy performance	19 / 21
EAc2	On-site renewable energy	4 / 4
EAc3	Enhanced commissioning	2 / 2
EAc4	Enhanced refrigerant Mgmt	2 / 2
EAc5.1	Measurement and verification - base building	3 / 3
EAc5.2	Measurement and verification - tenant submetering	3 / 3
EAc6	Green power	2 / 2



REGIONAL PRIORITY CREDITS

AWARDED: 4 / 4

EAc1	Optimize energy performance	1 / 1
EAc2	On-site renewable energy	1 / 1
EAc5.2	Measurement and verification - tenant submetering	0 / 1
WEc1	Water efficient landscaping	1 / 1
WEc2	Innovative wastewater technologies	0 / 1
WEc3	Water use reduction	1 / 1



MATERIAL & RESOURCES

AWARDED: 7 / 13

MRp1	Storage and collection of recyclables	REQUIRED
MRC1	Building reuse - maintain existing walls, floors and roof	0 / 5
MRC2	Construction waste Mgmt	2 / 2

TOTAL

101 / 110

40-49 Points CERTIFIED	50-59 Points SILVER	60-79 Points GOLD	80+ Points PLATINUM
---------------------------	------------------------	----------------------	------------------------

Figura 5.17: LEED Scorecard del Platinum BCN
Fuente: LEED Project Profiles (s.f.) Usgbc

5.4.2 Tabla resumen

La Tabla 5.1 presenta indicadores relacionados con la economía circular en la edificación y cómo cada edificio se aproximó a ellos. Incluye una columna de observaciones generales donde hay una breve explicación del indicador en caso de ser necesaria.

Indicador	Observaciones	Torre BBVA	Platinum BCN
Número de espacios de estacionamiento para automóviles	La cantidad de usuarios de la Torre BBVA es casi el triple del Platinum BCN.	2,880	482
Número de espacios de estacionamiento para bicicletas	Barcelona es una ciudad donde existen muchos puntos de renta de bicicletas, similar al programa EcoBici en México. La zona alrededor del Platinum BCN no es la excepción, por lo que no consideraron relevante el tener espacios dentro de sus instalaciones.	234	0
Sustentabilidad de los materiales utilizados en la construcción	Este indicador contempla las certificaciones en sustentabilidad de los principales materiales utilizados para construir, su huella de carbono, y si se pueden reutilizar fácilmente en una nueva obra en caso de demolición.	El 100% de la madera utilizada cuenta con la certificación FSC, que avala que proviene de plantaciones forestales o bosques que son gestionados responsablemente y que provee beneficios ambientales, sociales y económicos. Los dos materiales principales en su construcción son el acero, que produce 1.83 ton CO ₂ eq por ton producida y su tasa de reciclaje es del 100%, lo que quiere decir que no se pierden ninguna de sus propiedades ni de su calidad; y por otro lado el vidrio, que produce 0.12 ton CO ₂ eq por ton producida, y también tiene una tasa de reciclaje del 100%.	Los materiales utilizados para su construcción se seleccionaron con base en su influencia en el calentamiento global, el deterioro de la capa de ozono y la acidificación del agua. La madera cuenta con sistemas de certificación forestal. Los dos materiales más usados en su construcción son el vidrio y el aluminio, este último produce 16.8 ton CO ₂ eq por ton producida (varía ligeramente según la fuente de energía utilizada), y tiene una tasa de reciclaje de alrededor del 90%.
Uso de materiales reciclados en su construcción	Procedentes de otras obras o de fabricantes que utilicen materiales de segundo uso para la elaboración de sus productos.	No se utilizaron.	Su sitio oficial menciona que se incluyeron materiales reciclados, pero no se especifica en qué porcentaje.

Localidad de los materiales de construcción	Se refiere a si los materiales fueron traídos de localidades cercanas al sitio donde se elaboró el proyecto, hacer esto contribuye a evitar las emisiones generadas por largas distancias de transporte	Se utilizaron materiales regionales, eso significa que se trajeron de sitios encontrados en un radio de 500 millas (805 km) o menos.	El 70% de los materiales utilizados en la construcción se consideran de proximidad.
Gestión de los RCD generados	Qué ocurrió con los RCD generados durante la obra, si se pudieron reusar directamente en otro proyecto, o fueron mandados a puntos de reciclaje.	El 75% de sus residuos de obra fueron canalizados a puntos o sitios de reciclaje.	El 87% de los residuos generados durante su construcción se pudieron reciclar.
Fuentes de generación de energía	Ya sea que el edificio cuente con algún sistema de generación de energía limpia in situ o que haya subcontratado a una empresa que ofrezca este servicio de generación en sus instalaciones.	Una parte de su consumo energético es alimentado por energía eólica, pero no se especifica en qué porcentaje ni si requiere de una parte del suministro nacional para cubrir el total de la demanda.	Cuenta con un sistema de cimentación geotérmica que produce energía limpia in situ que se aprovecha en los sistemas de calefacción. Además tiene 722 placas fotovoltaicas que suplen toda la demanda energética del edificio. Esto quiere decir que el 100% de la energía consumida proviene de fuentes de energía renovable.
Ahorro energético	Se refiere a cuánta energía se ahorra gracias a los sistemas de iluminación, calefacción y todos aquellos relacionados. La referencia es el consumo de un edificio con sistemas tradicionales.	La torre ahorra alrededor de un 40% en energía eléctrica comparado con una edificación sin estrategias sostenibles.	Este edificio ahorra casi un 45% más energía que un edificio tradicional.
Sistemas de eficiencia energética	Son los sistemas de iluminación, aire acondicionado, calefacción y/o todos aquellos que contribuyen al ahorro energético.	La iluminación de la Torre es con focos LED, además de que se aprovecha la luz natural del sol. Gracias a las celosías se protege a la fachada del calor del sol, además de que se aprovecha el aire frío del exterior gracias a unos filtros instalados, lo que resulta en una menor demanda del uso de aire acondicionado.	La capa de aluminio que recubre el edificio es como una doble piel que provee de aislamiento térmico. También se aprovecha la luz natural del sol para iluminar espacios de trabajo. Las áreas verdes ayudan a reducir el efecto de ola de calor y disminuir la demanda de aire acondicionado.
Eficiencia hídrica	Se refiere al ahorro que se tiene en el consumo del agua potable respecto a los sistemas de un edificio tradicional.	Este rubro es una de las fortalezas más grandes del edificio, ya que cumple con todos los criterios de la USGBC (la organización que	De forma global existe un ahorro de agua potable de alrededor del 60%. Cumple con todos los criterios de eficiencia hídrica de la USGBC.

		creó la certificación LEED). Las plantas de tratamiento para la recirculación del agua reducen el consumo de agua potable en un 80.5%.	Tiene un eficiente sistema de riego por goteo para las zonas verdes en las instalaciones, que junto con los sensores de lluvia y humedad evitan que se desaproveche el agua.
Captación pluvial	El reutilizar el agua de lluvia para riego, o en edificios más nuevos para descargas de los WC representa un ahorro muy significativo en el uso de agua potable.	Se menciona que el 100% de las aguas de lluvia captadas se reutilizan como agua de riego para áreas verdes.	El sistema de retención de aguas pluviales existe en toda su cubierta y elimina la necesidad de agua potable para fines de riego.
Tratamiento aguas residuales	Ya sean las generadas dentro de las instalaciones o de uso domiciliario.	Se reutilizan aguas residuales y grises para riego, evitando al 100% la necesidad de agua potable para este fin.	Reutilizan las aguas grises provenientes de uso doméstico para eliminar al 100% la necesidad de uso de agua potable para riego.
Uso de luz natural	No solamente en las áreas verdes o terrazas del edificio, sino que este rubro evalúa la disponibilidad de luz natural para todos los espacios individuales de trabajo, así como los colectivos (cafetería, auditorios, salas de juntas, etc.).	La arquitectura aprovecha al máximo las distintas orientaciones del sol para proveer iluminación natural, y gracias a su diseño interior libre de muros se reduce el consumo de electricidad en un 20%. Aún así, por la puntuación que obtuvo en su certificación LEED se sabe que menos del 75% de los lugares de trabajo tienen acceso directo a esta.	Al tener una fachada de vidrio y debido a la diferencia de alturas que existe entre las tres torres que componen al complejo, el 100% de los espacios de trabajo tienen acceso a la luz natural. Las tres torres tienen un núcleo central donde se encuentran los servicios (baños, elevadores) por lo que el área de trabajo aprovecha todos los espacios donde la luz se filtra desde los muros de vidrio. Esto asegura un mayor bienestar y productividad de los usuarios, quienes además pueden disfrutar de la vista.
Ventilación natural	En los espacios comunes o si existe la posibilidad de ventilar las salas de juntas y demás espacios de trabajo a través de ventanas, no solamente aire acondicionado.	Únicamente se tiene ventilación directa en las terrazas, los jardines y patios. Indirectamente cuenta con un mecanismo que incorpora el aire externo en la ventilación interna del edificio.	Solamente en las terrazas, aunque en medio de las tres torres también existe una pequeña manzana con vegetación y bancas repartidas en todo el espacio para fomentar la convivencia.
Contaminación lumínica	En caso de que el edificio tenga algún tipo de iluminación externa en funcionamiento durante la noche, que pueda afectar los ciclos de sueño de animales nocturnos, ser molesta para los conductores o personas que la miren directamente, o contribuir al sky glow.	Cada día la torre se ilumina 15 minutos después de que se ha puesto el sol y hasta las 00:00 horas. También tiene un espectáculo de luces a las 21:00 horas con una duración de 3 a 5 minutos. Aunque la iluminación es con focos LED, esto no la hace menos intensa.	Aunque el edificio nunca deja de estar parcialmente iluminado en las noches, la luz es sutil y no se considera como contaminación lumínica.

Contaminación acústica	Algunos edificios tienen algún sistema de sonido externo para reproducir música o anuncios, lo que puede causar distracciones al conducir o desorientar a la fauna. También aplica para aquellas edificaciones, como fábricas, que hacen mucho ruido debido a los procesos que se llevan a cabo en ellas.	No la produce.	No la produce.
Áreas verdes	Terrazas, jardines, azoteas o espacios dentro de la edificación que cuente con vegetación.	En cada una de sus terrazas, y jardines elevados, los cuales se encuentran a cada 9 niveles a partir del piso 12.	En total, las áreas verdes del complejo suman 1,390 m ² , más del 20% de la superficie total. Están concentradas en sus dos terrazas y la zona común entre las tres torres a nivel del piso.
Programa de separación de residuos	Si el complejo cuenta con un espacio destinado a almacenar contenedores de diferentes tipos de basura, para poder separarlos y facilitar su tratamiento o reciclaje.	Hay contenedores de residuos orgánicos e inorgánicos en las áreas comunes.	Junto a la entrada del estacionamiento de las instalaciones se encuentran 5 contenedores donde las personas pueden tirar sus desechos orgánicos, plástico, vidrio, metal, papel/cartón. Además de que en todas las oficinas se tienen pequeños botes según el tipo de residuo.
Acceso a transporte público	Que esté a menos de 10 minutos caminando de una estación de metro, autobús, metrobús, tren, bicicletas de renta, o cualquier otro medio de transporte considerado como público.	A su alrededor se encuentran las estaciones Chapultepec (metro), Sevilla (metro y autobús), Insurgentes (metro y autobús), además de varias estaciones de alquiler de bicicletas del gobierno.	Cerca del complejo están cerca al menos 5 estaciones de metro a una distancia corta, y otras 6 a una distancia media. Hay un par de paradas de autobús por la zona, y varias estaciones de alquiler de bicicletas del gobierno.
Regaderas	Si el edificio cuenta con esta facilidad es mucho más probable que los usuarios se animen a utilizar las bicicletas, ya que pueden asearse antes de empezar su día laboral, ahorrando en el consumo de agua de su hogar.	En uno de los niveles subterráneos se cuenta con regaderas y casilleros que están disponibles para todos los empleados de la Torre. Únicamente para los casilleros es necesario que se haga una petición formal para su uso.	No se cuenta con este servicio en el complejo.
Servicios y tiendas accesibles alrededor	Al tener restaurantes, supermercados, estéticas, farmacias, gimnasios y otros servicios en la misma zona, se evitan las emisiones generadas por el	A su alrededor encontramos restaurantes y cafeterías, las farmacias están a una distancia media y no hay ningún supermercado cerca, solamente tiendas pequeñas	La zona donde se desarrolló el complejo anteriormente era completamente industrial, pero poco a poco se ha ido adaptando para que las personas trabajen y vivan en los alrededores de la

	desplazamiento de los usuarios.	como Oxxo. Por otro lado, se encuentra prácticamente de frente a la Torre Mayor, la cual cuenta con un área comercial llamada "The Shops", donde se ofrece una amplia variedad de alimentos, bebidas, servicios de bancos, tiendas de regalo, agencias de viaje, telefonía, mensajería y tintorería. Esta zona está abierta al público en general por lo que sería de fácil acceso para los usuarios de la Torre BBVA.	localidad. A su alrededor hay pequeñas farmacias y tiendas de abarrotes, restaurantes y cafeterías, así como versiones pequeñas de supermercados populares españoles.
--	---------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Tabla 5.1: Comparativa indicadores ambientales Torre BBVA y Platinum BCN

Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

De la información presentada en los capítulos anteriores se pueden extraer conclusiones que responden a preguntas como: ¿Es posible implementar el modelo de Economía Circular (EC) en la construcción? Si es así, ¿Cuáles son los desafíos implicados? ¿En qué etapas del proceso constructivo tendrá un mayor impacto? ¿Cuáles son las acciones clave que pueden aplicarse de forma global en los proyectos de construcción que se alinean con los principios de EC y sostenibilidad?

Para responder a estas preguntas se analizaron los diferentes factores implicados en la implementación del modelo de EC en la edificación, y concluimos que sí es posible adaptar sus principios a las diferentes etapas e industrias involucradas. Basándonos en esta premisa, se elaboraron las propuestas descritas a lo largo de los capítulos, y aunque están pensadas para edificios residenciales y de oficinas, su uso no está limitado a estos.

En la investigación se abordaron los desafíos a los que se enfrenta el sector de la construcción en México para implementar el modelo, tales como la comunicación y el traspaso de responsabilidad entre los agentes involucrados a lo largo de la vida útil del edificio, la falta de automatización en los procesos, y las irregularidades que existen durante la ejecución del proyecto en contraste con las estrategias propuestas durante la planificación.

La innovación toma gran relevancia en este proceso y no debería ser demeritada, sino que a través de estrategias creativas se busque desarrollar soluciones a múltiples problemáticas presentes hoy en día. Estas deben ser aplicables a lo largo de todas las fases de la cadena productiva de una edificación, que en este caso involucra desde los fabricantes de materiales hasta la empresa encargada de la demolición. El aplicar la EC en una sola de estas etapas no tiene un impacto tan significativo como el hacerlo en todas, logrando así un cambio integral a lo largo de toda la industria constructora.

En definitiva, no hay una solución maestra para darle frente a todos los problemas ambientales causados por la construcción, sino que existen un conjunto de soluciones válidas y viables según el contexto donde nos encontremos, delimitado por diversos aspectos (territorial, político, económico, ambiental, etc.). El verdadero desafío es escoger las que mejor se adapten al proyecto y sus necesidades.

Sin embargo, sí existen algunas acciones clave que deben ser tomadas en cuenta, como los esfuerzos por generar la menor cantidad de residuos tanto en la construcción como en la operación, mantenimiento y demolición del edificio, a través de la búsqueda de extensión de su vida útil con oportuno mantenimiento y rehabilitación de sus instalaciones, evitando que pierda su valor y se deteriore hasta el punto de la demolición total, priorizando el desmantelamiento selectivo, donde se rescate la mayor cantidad de materiales para utilizarlos en otros procesos constructivos, asegurando así el retorno al ciclo de valor.

Tomando en cuenta que la rentabilidad de un edificio es el factor más relevante para los inversionistas, esta investigación desmiente el mito que se tiene en torno a que la sustentabilidad en los edificios genera altos sobrecostos, de hecho, se estima que estos rondan del -0.4% al 12.5%. El valor 0.4% es negativo ya que existe una ganancia generada por la optimización de recursos. Según las palabras del Dr. Pere Fullana, director de la Cátedra UNESCO de Ciclo de Vida y Cambio Climático (UNEP/SETAC), durante una conferencia sobre la utilización del ACV, afirmó: “Cada vez que baja el impacto ambiental de un sistema, aumenta su competitividad porque las ineficiencias ambientales son ineficiencias materiales, es decir, ineficiencias económicas”.

México ha demostrado que tiene la intención de adaptarse a las necesidades actuales de la sociedad, donde la sustentabilidad tome gran relevancia dentro del desarrollo que toda nación busca y que su legislación esté dirigida al uso responsable de los recursos disponibles, además de que tiene un gran potencial para aplicar estas iniciativas de gestión. Hay muchos casos de éxito de proyectos con iniciativas de EC alrededor del mundo, y México cuenta con la ventaja de no tener grandes antecedentes en el uso del modelo económico, teniendo la oportunidad de tomar como referencia las experiencias positivas y negativas de los países pioneros y aplicar estos conocimientos desde un inicio.

Esperamos esta tesis sirva como antecedente en México para una mejor adaptación del sector de la construcción al modelo económico estudiado, el cual, estamos seguros, tendrá un carácter obligatorio derivado de la expedición del reglamento de la Ley General de Economía Circular, exigiendo la incorporación de criterios de EC en todos los sectores económicos.

Referencias Bibliográficas

- Canibe, Á. (24 de noviembre de 2022). *Así es el curioso Estadio 974: hecho con contenedores y desmontable.* as. <https://as.com/futbol/mundial/asi-es-el-curioso-estadio-974-hecho-con-contenedores-y-desmontable-n-2/>
- CMIC. (s/f). *Plan de Manejo de Residuos de la Construcción y Demolición.* Ciudad de México, México. <https://www.cmic.org.mx/comisiones/Sectoriales/medioambiente/Flayer/PM%20RCD%20Completo.pdf>
- Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo. (1987). *Nuestro futuro común.* Madrid. Alianza Editorial
- Díaz Coutiño, R., & Escárcega Castellanos, S. (2009). *Desarrollo sustentable: una oportunidad para la vida.* México: McGRAW-HILL.
- Economía lineal y circular ¿qué son y en qué se diferencian?* (15 de septiembre de 2021). Santander. <https://www.santander.com/es/stories/economia-lineal-y-circular-a-que-se-refieren-cada-uno-de-estos-terminos-y-cuales-son-sus-diferencias#:~:text=La%20econom%C3%ADa%20lineal%20es%20el,huella%20ambiental%20y%20sus%20consecuencias>
- Goedkoop, M., Effting, S., & Collignon, M. (1999). *Eco-indicador '99 - Método para evaluar el impacto ambiental a lo largo del Ciclo de Vida* [Archivo PDF].
- Lal, R. (1998) *Soil Erosion Impact on Agronomic Productivity and Environment Quality. Critical Reviews in Plant Sciences*, 17, 319-464. [http://dx.doi.org/10.1016/S0735-2689\(98\)00363-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0735-2689(98)00363-3)
- Secretaría de Servicios Parlamentarios. (08 de mayo de 2023). *Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA).* Cámara de Diputados. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGEEPA.pdf>
- Marten, G. G. (2001). Capítulo 1: Introducción. En G. G. Marten, *Ecología Humana: Conceptos Básicos para el Desarrollo Sustentable* (pág. 256). Earthscan Publications. <http://gerrymarten.com/ecologia-humana/capitulo01.html#>
- Ministerio del Medio Ambiente, Chile. (n.d.). *¿Qué es la contaminación Lumínica?*. Ministerio del Medio Ambiente de Santiago, Chile. <https://luminica.mma.gob.cl/que-es-la-contaminacion-luminica/>
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO). (n.d.). *Contaminación Acústica.* <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/contaminacion-acustica.html>
- Navarro Herrera, A., Véjar Pérez-Rubio, C., Morales Ruiz, S., & Dávila Navarro, D. E. (2021). *Por las veredas y caminos de México.* Archipiélago. Revista Cultural De Nuestra América, 28(111).
- OMS. (2023). *Contaminación atmosférica.* Organización Mundial de la Salud. https://www.who.int/es/health-topics/air-pollution#tab=tab_1
- Oppenheimer, A. (2019). *¡Sálvese quien pueda: El futuro del trabajo en la era de la automatización* (1a ed.). Barcelona: Penguin Random House.

- Secretaría de Servicios Parlamentarios. (08 de mayo de 2023). *Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente*. Cámara de Diputados. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGEEPA.pdf>
- SEDEMA. (2021). *Programa de Gestión Integral de Residuos para la Ciudad de México*. Ciudad de México, México. https://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/DGEIRA/PGIR/PGIR%202021-2025_N_ago21.pdf
- Segerfeldt, F. (2005). *Water For Sale: How Business and the Market Can Resolve the World's Water Crisis*. Cato Institute.
- Segerfeldt, F. (2005). *Water For Sale: How Business and the Market Can Resolve the World's Water Crisis*. Cato Institute.
- Steadman, P. (1982). *Energía, medio ambiente y edificación*. Madrid. H. Blume Ediciones
- SIL. (2021). *Aprobación del dictamen por el que se expide la LGEC*. México. Recuperado el April 19, 2023, from: <http://sil.gobernacion.gob.mx/NoticiasView/NoticiasView.php?id=4290&load=1>
- Silvius, A. & Schipper, R. (2014) *Sustainability in Project Management. Competencies: Analyzing the Competence Gap of Project Managers..* https://www.researchgate.net/publication/263776648_Sustainability_in_Project_Management_Competencies_Analyzing_the_Competence_Gap_of_Project_Managers
- UNEP/SETAC. (2011). *Towards a Life Cycle Sustainability Assessment. UNEP/SETAC Life Cycle Initiative*.
- WWAP (Programa Mundial de la UNESCO de Evaluación de los Recursos Hídricos). 2019. *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2019: No dejar a nadie atrás*. París, UNESCO.

Bibliografía

- Agencia Digital de Innovación Pública. (20 de marzo de 2020). *Torre BBVA México*. Obtenido de Mexico City Government: <https://mexicocity.cdmx.gob.mx/venues/torre-bbva-mexico/?lang=es#:~:text=Mide%20235%20metros%20de%20altura,del%20suelo%20con%20Metro%20Chapultepec>
- Alemaní Gambau, D. (2021). *Análisis del Ciclo de Vida (ACV) en los Edificios* [Archivo PDF]
- Alonso, G., Ramón Ramírez, J., & Palacios, J. C. (agosto de 2011). *Energía nuclear en México, como alternativa para la reducción de emisiones de CO₂*. SciELO. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-4999201100030012#c3
- AMEE. (05 de noviembre de 2010). *METODOLOGÍA PARA EVALUAR EXTERNALIDADES EN LA GENERACIÓN ELÉCTRICA*. Obtenido de Instituto de Investigaciones Eléctricas: <https://www.cre.gob.mx/documento/1867.pdf>
- Análisis de Ciclo de Vida: Edificaciones*. (enero de 2014). Centro Mario Molina. <https://centromariomolina.org/wp-content/uploads/2014/01/ACV-edificios-comerciales.pdf>
- Anderson, D. A. (2010). *Environmental Economics and Natural Resource Management*. Londres: Routledge
- Antón Vallejo, M. A. (2004). *Metodología del análisis del ciclo de vida* [Archivo PDF]
- Arenas Cabello, F. J. (2007). *El Impacto Ambiental en la Edificación: Criterios para una Construcción Sostenible*. Madrid: Edisofer
- Arista González, G., & Posadas García, F. (2012). *El ACV, como herramienta para diseñadores en la selección de materiales con menor impacto ambiental* [Archivo PDF].
- Arqinnovation (Anfitrión). (2021). *Arqinnovation Podcast* [Podcast]. Spotify.
- Artieda Rojas, J. R., Mera Andrade, R. I., Muñoz Espinoza, M. S., & Ortiz Tirado, P. S. (2017). *El trueque como sistema de comercialización - Desde lo ancestral a lo actual*. Revista de Ciencia, Tecnología e Innovación, 4(3)
- Así era la economía mexicana durante la revolución*. (20 de noviembre de 2018). Imagen radio 90.5. <https://www.imagenradio.com.mx/asi-era-la-economia-mexicana-durante-la-revolucion>
- Assaff, R. (s.f.). *PMBOK – El Cuerpo de Conocimientos de la Gestión de Proyectos* [Archivo PDF].
- Astudillo Moya, M., & Paniaguas Ballinas, J. F. (2012). *Fundamentos de Economía*. México: Probooks.
- Bátiz Vázquez, J. A. (2004). *Cambios y permanencias en la moneda mexicana durante el siglo XIX*. México. <http://www.economia.unam.mx/amhe/memoria/simposio10/Jose%20Antonio%20BATIZ.pdf>
- Baumol, W. J., & Oates, W. E. (1975). *La Teoría de la Política Económica del Medio Ambiente*. Prentice-Hall.

- Belda Hériz, I. (2018). *Economía circular: un nuevo modelo de producción y consumo sostenible*. Tébar Flores. [Archivo PDF]
- BIM en México: plan estratégico y perspectivas 2030. (06 de junio de 2023). ZIGURAT. <https://www.e-zigurat.com/es/blog/bim-en-mexico-plan-estrategico-y-perspectivas-2030/>
- BIMrras (Anfitrión). (2018-presente). *BIMrras Podcast* [Podcast]. Spotify.
- BREEAM Circularity Technical Working Group. (febrero de 2023). *BREEAM principles for circular buildings*. BREEAM. <https://www.bre.group/breeam-circularity-principles/>
- BREEAM ES. (s.f.). *El certificado de la construcción sostenible líder en el mundo* [Archivo PDF]
- Bribián Zalbaza, I. (2011). *Adaptación de la metodología del análisis de ciclo de vida para la evaluación y la mejora del impacto energético y ambiental de la edificación en España* [Tesis doctoral, Universidad Zaragoza] [Archivo PDF].
- CADIS. (2021). Video [Grupo de Facebook]. Facebook. <https://www.facebook.com/CadisMexico/videos/937853290303105>
- Cámara de Diputados. (08 de mayo de 2023). *LEY GENERAL PARA LA PREVENCIÓN Y GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS*. Obtenido de Secretaría de Servicios Parlamentarios: <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGPGIR.pdf>
- Cámara de Senadores. (17 de noviembre de 2021). *Expediente original del Proyecto de decreto por el que se expide Ley General de Economía Circular*. https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/senclave/65/CS-LXV-I-1P-038/01_minuta_038_17nov21.pdf
- Canal CADIS México. (2020). *Webinar: Costos en el Ciclo de Vida* [Archivo de video]. YouTube: <https://youtu.be/ol3slvxQnmk>
- Canal Descubriendo Estructuras. (13 de agosto de 2020). *Metodología BIM en la construcción* [Archivo de video]. YouTube. <https://youtu.be/f5KLxQ4OpBU>
- Canal El Ingeniero de Costos. (20 de agosto de 2020). *¿Qué es el PMBOK?* [Archivo de video]. YouTube. <https://youtu.be/ux1gY9tIMvs>
- Canal Estructuristeando (24 de mayo de 2021). *Torre BBVA Bancomer (Marcos excéntricos)* [Archivo de video] YouTube: https://youtu.be/FaCEsDh4faE?si=y6fBtd25b_QbxJD0
- Canal Juan Ramón Rallo. (02 de enero de 2022). *¿Es la energía nuclear una energía verde?* [Archivo de video]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=NMDwmc6vFFc>
- Canal SUMe Sustentabilidad para México, A.C. (16 de febrero de 2023). *Webinar M.S.V. con Bioe: Actualización Sustentable para edificaciones existentes* [Archivo de video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=xGnzDMUilfk>
- Carabaño, R., Hernando, S. M., Ruíz, D., & Bedoya, C. (2017). *Life Cycle Assessment (LCA) of building materials for the evaluation of building sustainability: the case of thermal insulation materials*. Revista de la Construcción (Vol. 16 (1)). https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-915X2017000100022&script=sci_arttext&tlng=en
- Cárdenas Gutiérrez, E., Albitar Rodríguez, Á., & Jaimes Jaramillo, J. (14 de diciembre de 2016). *Pavimentos permeables: Una aproximación convergente en la construcción de vialidades urbanas y en la preservación del recurso agua*. Ciencia ergo-sum. https://www.redalyc.org/journal/104/10450491009/html/#redalyc_10450491009_ref15
- Carretero García, A. (2022). *ECONOMÍA CIRCULAR VERSUS ECONOMÍA LINEAL. PROPUESTAS NORMATIVAS EN ESPAÑA Y FRANCIA RELATIVAS AL USO DE*

- ENVASES Y A LA INFORMACIÓN DIRIGIDA AL CONSUMIDOR SOBRE CUALIDADES AMBIENTALES DE LOS PRODUCTOS*. Revista CESCO de Derecho de Consumo.
- Centro Mario Molina. (2014). *Análisis de Ciclo de Vida: Edificaciones* [Archivo PDF]
- Cerdá, E., & Aygun, K. (s.f.). *Economía Circular, estrategia y competitividad empresarial* [Archivo PDF]
- Certificación LEED en México | ¿Cuántos edificios están certificados? . (28 de marzo de 2022). Obtenido de Control de acceso: <https://controlaccesosistemas.com/certificacion-leed-mexico-cuantos-edificios-estan-certificados/>
- Chávez, P. J., Martini, I., & Franco, A. J. (01 de enero de 2018). *Construcción de escenarios urbano-energéticos a partir de la implementación de estrategias de eficiencia energética y energías renovables en el sector residencial*. [Tesis doctoral]
- Chambers Rubio, P. (23 de marzo de 2020). *Una segunda vida a nuestros recursos* [Discurso principal]. Conferencia CEMEX, México.
- CIVITA. (2020). *CERTIFICACIÓN LEED*. Obtenido de CIVITA: <https://civita.com.mx/servicios/certificaciones/leed/>
- Clima Distrito Federal. (s.f.). Obtenido de INEGI: <https://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/df/territorio/clima.aspx?tema=me&e=09#:~:text=La%20temperatura%20media%20anual%20es,en%20el%20mes%20de%20enero>
- CNN Español. (15 de julio de 2022). *La Torre BBVA demuestra que es posible crear una arquitectura sustentable que va de la mano con el diseño*. Obtenido de CNN Español: <https://cnnespanol.cnn.com/2022/07/15/torre-bbva-arquitectura-sustentable-orix/15>
- Colegio de Ingenieros Civiles de México. (01 de noviembre de 2022). *Revista IC 636 noviembre-diciembre 2022*. Obtenido de issuu: https://issuu.com/cicm_oficial/docs/nov-dic_ic636-fin
- Comisión Nacional del Medio Ambiente. (2018). *Economía Circular en el sector de la construcción*. Revista Fundación CONAMA. CONAMA. http://www.conama.org/conama/download/files/conama2018/GTs%202018/6_final.pdf
- Consejería del Medio Ambiente. (2000). *Manual de Gestión Ambiental y Auditoría: Sector de Construcción y Viviendas*. Madrid: Mundi-prensa.
- Córdova Preciado, M. L., Salgado Beltrán, L., & Bravo Diaz, B. (2021). *Economía Circular y su situación en México* [Archivo PDF]
- Cortinas, C. (s.f.). *Introducción a la Economía Circular en México* [Archivo PDF]
- Cortinas, C., & Rosillo, I. (2022). *La Economía Circular. Los retos para México* [Archivo PDF]
- Costafreda Amorós, M. (1981). *La teoría de la política económica del medio ambiente*. Obtenido de UAM biblioteca: <https://repositorio.uam.es/handle/10486/5757>
- De la Peña, E. (02 de agosto de 2017). *Corrupción en la industria de construcción*. Deloitte. <https://www2.deloitte.com/mx/es/pages/dnoticias/articulos/corrupcion-en-industria-construccion.html>
- Demografía y sociedad*. (2020). Obtenido de INEGI: <https://www.inegi.org.mx/temas/estructural/>
- Día de la sobrecapacidad de la Tierra*. (2023). WWF. https://www.wwf.es/nuestro_trabajo/informe_planeta_vivo_ipv/huella_ecologica/dia_de_la_s

- Glauco Quesada. (2012). *Gestión de Proyectos de Cooperación: un repaso a la teoría sobre el PMBOK* ® [Archivo PDF].
- Global Footprint Network. (2023). *How many Earths? How many countries?* Obtenido de Earth overshoot day: <https://overshoot.footprintnetwork.org/how-many-earths-or-countries-do-we-need/>
- Gómez; R. (Anfitrión). (2020-presente). *Biodegradable* [Podcast]. Spotify.
- Greenteam. (2011). *Las cimentaciones termoactivas*. Obtenido de Green Barcelona: <http://www.greenbarcelona.com/2013/03/las-cimentaciones-termoactivas.html>
- Grupo Parlamentario Morena. (Abril 04, 2020). *Proyecto de decreto que expide la Ley General de Aguas*. http://sil.gobernacion.gob.mx/Archivos/Documentos/2020/08/asun_4057466_20200805_1596651445.pdf
- Guerra, F. (01 de junio de 2022). *Las 10 principales certificaciones de edificios sostenibles en México*. TEC. <https://futurociudades.tec.mx/es/edificios-sostenibles-mexico>
- Higgins, K. L. (2015). *Economic Growth and Sustainability: Systems Thinking for a Complex World*. Elsevier.
- Homicidios, asaltos a mano armada y robos: los delitos más comunes cometidos en motocicletas en México y el papel de la videovigilancia con IA*. (16 de mayo de 2023). ALGOTIVE. <https://www.algotive.ai/es-mx/blog/homicidios-asaltos-a-mano-armada-y-robos#:~:text=El%20robo%20con%20violencia%20a,a%C3%B1o%20fueron%20de%20este%20tipo>.
- IFC. (2020). *MEXICO GREEN BUILDING MARKET MATURITY SNAPSHOT 2020* [Archivo PDF].
- Iglesias Otero, M., & de las Heras, J. (19 de 09 de 2018). *¿Cómo se mantiene en pie un edificio de 50 plantas durante un terremoto?* Obtenido de BBVA: <https://www.bbva.com/es/mantiene-pie-edificio-50-plantas-terremoto/>
- Impactos Ambientales en el Sector de la Construcción*. (29 de noviembre de 2021). Construmática. https://www.construmatica.com/construpedia/Impactos_Ambientales_en_el_Sector_de_la_Construcci%C3%B3n#:~:text=La%20fabricaci%C3%B3n%20de%20materiales%20de,de%20residuos%20de%20todo%20tipo.
- INECC. (2021). *Análisis y revisión técnica del marco legal existente para la instrumentación de una política en materia de economía circular para México* [Archivo PDF]
- INEGI. Conjunto Nacional de Información Edafológica. Serie II. INEGI. México. 2007. IUSS Working Group WRB. Base referencial mundial del recurso suelo 2014, Actualización 2015. Sistema internacional de clasificación de suelos para la nomenclatura de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos. Informes sobre recursos mundiales de suelos 106. FAO. Roma. 2016.
- Instituto Municipal de Planeación de Mérida. (2021). *Sistemas Urbanos de Drenaje Pluvial Sostenible para Mérida* [Archivo PDF].
- International WELL Building Institute. (s.f.). *Certificación WELL. Obtenido de Bioconstrucción y energía alternativa*: <https://bioconstruccion.com.mx/certificacion-well/>
- Inventario de Emisiones de la Ciudad de México 2016*. Contaminantes criterio, tóxicos y compuestos de efecto invernadero. SEDEMA 2018

- ISO 14040:2006. Environmental management - Life cycle assessment - Principles and Framework
- ISO 14044:2006. Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and Guidelines
- Jaca, C. (2018). *Economía circular: Guía para PYMES*. Universidad de Navarra. Arenas Cabello, F. J. (2007). *El Impacto Ambiental en la Edificación: Criterios para una Construcción Sostenible*. Madrid: Edisofer.
- Jélvez N, C. (19 de octubre de 2021). *Problemas fundamentales de la economía*. Linked in. <https://es.linkedin.com/pulse/c%C3%B3mo-responder-las-3-preguntas-claves-de-la-econom%C3%ADa-una-j%C3%A9lvez-n->
- Jiménez Herrero, L. M., & Pérez Lagueta, E. (2019). *Economía circular-espiral: transición hacia un metabolismo económico cerrado*. Ecobook.
- Jiménez, R. (24 de enero de 2023). *¿Sabes cuántos asaltos en el transporte público de CDMX-Edomex se registraron al día en 2022?* El Universal. <https://www.eluniversal.com.mx/edomex/sabes-cuantos-asaltos-en-el-transporte-publico-de-cdmx-edomex-se-registraron-al-dia-en-2022/>
- Join Research Center. (2021). *Technical assessment of nuclear energy with respect to the "do no significant harm" criteria of Regulation (EU)*. https://commission.europa.eu/system/files/2021-03/210329-jrc-report-nuclear-energy-assessment_en.pdf
- Jorge Ortiz, A., Bovea Edo, M., & Braulio Gonzalo, M. (2022). *ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA EN EL SECTOR DE LA EDIFICACIÓN RESIDENCIAL: ESTADO DEL ARTE* [Archivo PDF]
- Kuntz Ficker, S. (2010). *Historia económica general de México: de la colonia a nuestros días* (1 ed.). D. F., México. <https://cursoshistoriavdemexico.files.wordpress.com/2019/07/kunts-ficker-sandra-historia-econoc3b3mica-general-de-mc3a9xico.-de-la-colonia-a-nuestros-dc3adas.pdf>
- La basura electrónica y su peligro para el medio ambiente*. (18 de enero de 2023). National Geographic España. https://www.nationalgeographic.com.es/mundo-ng/peligros-basura-electronica_13239
- La Economía Circular y los Sistemas de Control de Calidad de Procesos y Productos*. (2022). SciELO. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552021000100160
- Lafargeholcim. (2021). *Environmental Production Declaration* [Archivo PDF]
- Las 5 metodologías más efectivas para la gestión de proyectos de construcción*. (15 de junio de 2023). ZIGURAT. <https://www.e-zigurat.com/es/blog/mejores-metodologias-gestion-proyectos/>
- LEED Project profiles*. (s.f.). Obtenido de Usghbc: <https://www.usghbc.org/projects>
- LEGORRETA. (2016). *LEGORRETA*. Obtenido de TORRE BBVA (LEGOROGERS, COLABORACIÓN ENTRE LEGORRETA® + RSHP ROGERS STIRK HARBOUR + PARTNERS): <https://www.legorreta.mx/proyecto-torre-bbva-legorogers-colaboracion-entre-legorreta-rshp-rogers-stirk-harbour-partners>
- Ley General de Economía Circular*. (19 de abril de 2022). GTA ambiental. <https://gtaambiental.com/ley-general-de-economia-circular/#:~:text=La%20Ley%20General%20de%20Econom%C3%ADa%20Circular%20tiene%20como%20principal%2>

- Objetivo, residuos%20derivados%20de%20las%20mismas.
- Lira Cortés, L., González Rodríguez, O., & Méndez Lango, E. (22 de octubre de 2008). *Medición de la Conductividad Térmica de Algunos Materiales Utilizados en Edificaciones*. Obtenido de Centro Nacional de Metrología: https://www.cenam.mx/simposio2008/sm_2008/memorias/S4/SM2008-S4C2-1100.pdf
- López Aguilar, J. F. (07 de mayo de 2022). *¿Qué es la servitización? Descubre la economía de la funcionalidad*. Obtenido de Arquitectura y diseño: https://www.arquitecturaydiseno.es/pasion-eco/que-es-servitizacion-descubre-economia-funcionalidad_7418
- López Carasa, P., Rodríguez, A., & Vazquez Gómez, G. (2022). *¿Estamos preparados para la nueva ley de Economía Circular en México?* [Archivo PDF]
- Lores Medina, A., & Cárdenas Espitia, N. (2018). *ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN EDIFICIO DE USO MIXTO VIVIENDA MULTIFAMILIAR Y COMERCIAL* [Archivo PDF].
- Martínez Belotto, J. (06 de septiembre de 2021). *La servitización de la eficiencia energética se abre paso en España a través del impulso de ESEs y fabricantes*. Interempresas. <https://www.interempresas.net/Autoconsumo/Articulos/365968-servitizacion-eficiencia-energetica-abre-paso-Espana-impulso-ESEs-fabricantes.html>
- Mauritz Glaumann. (s.f.). *ECOEFFECT – A HOLISTIC TOOL TO MEASURE ENVIRONMENTAL IMPACT OF BUILDING PROPERTIES* [Archivo PDF].
- Meritxell Bellart, C., & Mesa Marcos, S. (2009). *IMPACTO AMBIENTAL Y CICLO DE VIDA DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN* [Archivo PDF]
- Montañés Macías, B. (22 de mayo de 2014). *Arquitectura Bioclimática: Conceptos y técnicas*. Obtenido de Eco habitar: <https://ecohabitar.org/arquitectura-bioclimatica-conceptos-y-tecnicas/>
- Montaño Quintero, A. (2023). *Platinum@BCN mantiene una tasa de ocupación del 100% a pesar de la pandemia*. Obtenido de Europa Press: <https://www.europapress.es/comunicados/empresas-00908/noticia-comunicado-platinum-bcn-mantiene-tasa-ocupacion-100-pesar-pandemia-20201125092353.html>
- Morán del Pozo, J. M., Valdés, J. A., Aguado, P. J., Guerra, M. I., & Medina, C. (2010). *Estado actual de la gestión de residuos de construcción y demolición: limitaciones* [Archivo PDF]
- Monreal Ávila, R., & Bolaños, R. (29 de octubre de 2019). *Iniciativa de Ley General de Economía Circular*. https://infosen.senado.gob.mx/sgsp/gaceta/64/2/2019-11-12-1/assets/documentos/Ini_Morena_Sen_Monreal_Ley_Conomia_Circular.pdf
- Monreal Ávila, R., & Bolaños, R. (12 de noviembre de 2019). *Promoción de actividades económicas con observancia de normas sociales y medioambientales*. Gaceta del Senado. https://www.senado.gob.mx/65/gaceta_del_senado/documento/101326
- O'Neill, A. (s.f.). *The healthy building difference*. Obtenido de International WELL Building Institute: <https://www.wellcertified.com/certification/v2/>
- Ossenbach, S. (30 de junio de 2021). *3 maneras de minimizar la contaminación de agua en obras*. Dormakaba. <https://blog.dormakaba.com/es/minimizar-la-contaminacion-de-agua-en-obras/>
- Ossio, F. (Anfitrión). (2021-presente). *La Construcción se vuelve Circular* [Podcast]. Spotify.

- PDCA Home. (08 de junio de 2014). *Implantación de un Sistema de Gestión de Calidad*. PDCA Home. <https://www.pdcahome.com/6386/implantacion-de-un-sistema-de-gestion-de-calidad/#:~:text=Un%20Sistema%20de%20Gesti%C3%B3n%20Documental,del%20funcionamiento%20de%20la%20organizaci%C3%B3n.>
- PDCA Home. (17 de febrero de 2014). *El mapa de procesos como herramienta de gestión*. Obtenido de PDCA Home: <https://www.pdcahome.com/6072/el-mapa-de-procesos-como-herramienta-de-gestion/>
- Peña Serrano, A. B. (31 de enero de 2023). *Bomba de calor geotérmica para calefacción y refrigeración ¿Cómo funciona?* Calor y frío. <https://www.caloryfrio.com/energias-renovables/geotermia/bomba-de-calor-geotermica-funcionamiento-instalacion.html>
- Pérez Herrera, J. F. (05 de agosto de 2020). *La economía circular en construcción no solo es posible: es necesaria*. Lean Construction México. <https://www.leanconstructionmexico.com.mx/post/la-econom%C3%ADa-circular-en-construcci%C3%B3n-no-solo-es-posible-es-necesaria>
- Pérez Marcano, M. (2013). *SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD EN EMPRESAS CONSTRUCTORAS* [Archivo PDF].
- LEED Platinum. (2018). *Torre BBVA Bancomer* [Archivo PDF].
- LEED Platinum. (2019). *Platinum BCN* [Archivo PDF]
- Platinum@BCN. (s/f). *Barcelona Turisme*. Obtenido de <https://www.barcelonaturisme.com/wv3/es/page/4317/.html>
- Pons, J. F., & Rubio, I. (2021). *LEAN CONSTRUCTION - LAS 10 CLAVES DEL ÉXITO PARA SU IMPLANTACIÓN* [Archivo PDF].
- Problemas fundamentales de la economía*. (s/f). p.5. <https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448151542.pdf>
- Producción de cemento: cómo reducir las emisiones de CO2*. (2023). Ennomotive. <https://www.ennomotive.com/es/produccion-de-cemento/#:~:text=En%20peso%2C%20por%20cada%201000,en%20la%20producci%C3%B3n%20de%20ingenieriaquimica>
- Project. (15 de enero de 2021). *Platinum@BCN*. Obtenido de [Platinumbcn: https://www.platinumbcn.com/en/project/](https://www.platinumbcn.com/en/project/)
- PRTR. (2022). *Partículas PM10*. PRTR. <https://prtr-es.es/Particulas-PM10,15673,11,2007.html>
- Qué es un sistema de gestión documental (SGD)*. (s.f.). Universidad Oberta de Catalunya. <https://www.uoc.edu/portal/es/arxiu/gestio-documental/que-es/index.html#:~:text=Los%20objetivos%20de%20un%20SGD,genera%20de%20un%20modo%20eficaz>
- ¿QUÉ ES LA CERTIFICACIÓN WELL?* (s.f.). Obtenido de Instituto Tecnológico de Galicia: <https://wellservices.itg.es/certificado-well/>
- Quiroz Zamora, J. (13 de marzo de 2020). *Análisis del Sector Construcción*. Obtenido de Grupo financiero Monex: <https://www.monex.com.mx/portal/download/reportes/200313b%20Sectorial%20-%20Construcci%C3%B3n.pdf>
- Quispe Gaibor, J., & Guañuna Tuquerres, G. V. (2018). *VALORES ÉTICOS ENFOCADOS EN EL ÁMBITO DE LA OBRA CIVIL* [Archivo PDF].

- Ramos Sanz, A. (08 de febrero de 2016). *El Foro Económico Mundial explica por qué hay tanta corrupción en el urbanismo*. El Confidencial. https://www.elconfidencial.com/alma-corazon-vida/2016-02-08/el-foro-economico-mundial-explica-por-que-hay-tanta-corrupcion-en-el-urbanismo_1146606/
- Residuos profesionales. (2015). *La Importancia del ACV en la EC. Residuos profesionales*. Retrieved April 15, 2023, from: <https://www.residuosprofesional.com/analisis-de-ciclo-de-vida-economia-circular/>
- Retos. (07 de marzo de 2023). *Guía PMBOK: definición, estructura y tips de estudio*. EAE. <https://retos-operaciones-logistica.eae.es/que-es-la-guia-pmbok-y-como-influye-en-la-administracion-de-proyectos/>
- Retos Directivos. (30 de noviembre de 2021). *Economía lineal: características, riesgos y alternativa*. EAE, Business School. <https://retos-directivos.eae.es/economia-lineal-caracteristicas-riesgos-y-alternativa/>
- Reyna, A. (03 de abril de 2018). *La Torre BBVA Bancomer obtiene la certificación LEED Platino*. Obtenido de BBVA: <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/torre-bbva-bancomer-obtiene-certificacion-leed-platino/>
- Ritchie, H., & Spooner, F. (2019). *Clean Water*. Our World In Data. <https://ourworldindata.org/clean-water>
- Rodríguez Lledo, C. (1999). *Guía de bioconstrucción: sobre materiales y técnicas constructivas saludables y de bajo impacto ambiental*. Mandala Ediciones.
- Romero Rodríguez, Blanca Iris. (2003). Análisis del ciclo de vida y la gestión ambiental. Boletín IIE. Consulted on en <http://www.iie.org.mx/boletin032003/aplica.pdf>, pp. 91-97
- Rueda Callejas, A. (2018). *IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA BIM EN UNA EMPRESA CONSTRUCTORA* [Archivo PDF].
- Sánchez Fermín, S. A. (18 de junio de 2014). *México introduce la certificación sustentable BREEAM*. Obras por expansión. <https://obras.expansion.mx/construccion/2014/06/19/mexico-introduce-la-certificacion-sustentable-breeam>
- Sánchez Pacheco, N. B. (2020). *REUTILIZACIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (RCD) EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN* [Archivo PDF].
- Sandoval García, E., Ramos Rodríguez, G. G., & Correa Torres, A. (2022). *Midiendo la Economía Circular en México* [Archivo PDF]
- Sayago; A. (Anfitrión). (2021-presente). *Arquitectura sostenible* [Podcast]. Spotify
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2018). *MANUAL PARA CONSERVACIÓN DE PUENTES Y ESTRUCTURAS SIMILARES*.
- Secretaría de Economía. (2013). *EDIFICACIÓN SUSTENTABLE - CRITERIOS Y REQUERIMIENTOS AMBIENTALES MÍNIMOS*. (NMX-AA-164-SCFI-2013).
- Secretaría de Gobernación. (18 de noviembre de 2021). *Aprobación del dictamen por el que se expide la Ley General de Economía Circular*. SIL. <http://sil.gobernacion.gob.mx/NoticiasView/NoticiasView.php?id=4290&load=1>
- Secretaria del Medio Ambiente [SEMARNAT]. (2021). *NOM-001-SEMARNAT-2021: Que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación*.

- Secretaría de Servicios Parlamentarios. (24 de diciembre de 2015). *Ley de Transición Energética*. Cámara de Diputados. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LTE.pdf>
- Secretaría de Servicios Parlamentarios. (2014). *Ley de la Industria Eléctrica* [Archivo PDF]
- Secretaría de Servicios Parlamentarios. (24 de diciembre de 2015). *Ley de Transición Energética*. Cámara de Diputados. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LTE.pdf>
- SEDEMA. (2019). *Inventario de Residuos Sólidos de la Ciudad de México 2019*. <https://www.sedema.cdmx>.
- SEDEMA. (2023). *Programa de Certificación de Edificaciones Sustentables de la Ciudad de México*. Gobierno de la Ciudad de México. <https://www.sedema.cdmx.gob.mx/servicios/servicio/programa-de-edificaciones-sustentables-de-la-ciudad-de-mexico>
- SEDEMA. (s.f.). *Economía lineal*. SEDEMA. <http://data.sedema.cdmx.gob.mx:8081/residuos/index.php/economia-lineal>
- SEDEMA. (s.f.). *Qué estamos haciendo*. Gobierno de la Ciudad de México. <http://www.sadsma.cdmx.gob.mx:9000/circular/que-estamos-haciendo>
- SEMAR. (14 de noviembre de 2022). *Norma Técnica Estatal Ambiental NTEA-011-SeMAGEM-RS-2022*.
- SEMAR. (31 de diciembre de 2020). *Formato Plan de Manejo de Residuos de la Construcción y Demolición en Materia de Impacto Ambiental*. Gobierno de la Ciudad de México. https://registrodetramites.cdmx.gob.mx/statics/formatos/TSEDEMA_EDA_PMRCD.pdf
- SEMARNAT. (s.f.). *Informe de situación de medio ambiente en México*. Gobierno de México. <https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe18/index.html>
- SEMARNAT. (diciembre de 2019). *Guía para la elaboración de la Manifestación de Impacto Ambiental Regional*. México. http://dsiappsdev.semarnat.gob.mx/formatos/DGIRA/Guia_MIA-R-DIC-2019.pdf
- SEMARNAT. (01 de noviembre de 2021). *Día Mundial de la Ecología*. Gobierno de la Ciudad de México. <https://www.gob.mx/semarnat/es/articulos/dia-mundial-de-la-ecologia-286942?idiom=es>
- SEMARNAT. (s.f.). *Reporte de Avance de Energías Limpias*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/610964/Cap10_-_Marco_Juri_dico_Reporte_Avance_de_Energias_Limpias_WEB.pdf
- SEMARNAT, & INECC. (2018). *Sexta Comunicación Nacional sobre el Cambio Climático*. México ante el cambio climático. https://cambioclimatico.gob.mx/sexta-comunicacion/emisiones_y_gases.php
- Senado Morena. (2019). *INICIATIVA CON PROYECTO DE DECRETO POR EL QUE SE EXPIDE LA LEY GENERAL DE ECONOMÍA CIRCULAR* [Archivo PDF]
- SENER. (03 de febrero de 2021). *Por medio de la energía nuclear, nuestro país garantiza el suministro de electricidad*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/sener/articulos/por-medio-de-la-energia-nuclear-nuestro-pais-garantiza-el-suministro-de-electricidad?idiom=es>
- SENER. (2012). *Prospectiva de energías renovables 2012-2026*. Gobierno Federal. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/62954/Prospectiva_de_Energias_Renovables_2012-2026.pdf

- SeroBOT. (27 de agosto de 2019). *Contaminación del suelo*. Obtenido de Wikipedia: https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Contaminaci%C3%B3n_del_suelo&oldid=118602378
- Serrano Yuste, P. (20 de diciembre de 2016). *La inercia térmica en la construcción de edificios eficientes*. Obtenido de Certificados energéticos: <https://www.certificadosenergeticos.com/inercia-termica-construccion-edificios-eficientes>
- Sexta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. (20 de abril de 2023). INECC y Semarnat. <https://www.gob.mx/inecc/articulos/sexta-comunicacion-nacional-ante-la-cmnucc?idiom=es>
- Silva, V. (18 de diciembre de 2021). *Edificio Platinum@BCN* / GCA Architects. ArchDaily México. Obtenido de <https://www.archdaily.mx/mx/973617/edificio-platinum-at-bcn-gca-architects>
- SINA. (julio de 2023). *Ciclo hidrológico*. Sistema Nacional Ambiental. <https://sina.conagua.gob.mx/sina/index.php?p=7#:~:text=M%C3%A9xico%20recibe%20por%20lluvia%20aproximadamente,natural%20y%20recarga%20los%20acu%C3%ADferos>
- Smartlighting. (10 de julio de 2020). *Servitización de la eficiencia energética: ANESE y otras entidades europeas ponen en marcha el proyecto "Efficient Equipment as a service"*. Smartlighting. <https://smart-lighting.es/servitizacion-eficiencia-energetica/>
- Sobre las pilas: efectos contaminantes de las pilas*. (2023). ECOLEC fundación. <https://ecolec.es/informacion-y-recursos/sobre-las-pilas/#:~:text=Los%20efectos%20contaminantes%20de%20las%20pilas&text=Se%20estima%20que%20una%20pila,d e%20carb%C3%B3n%20hasta%203.000%20litros>
- Soibelman, L. (s.f.). *Desperdicios vs el control de los materiales*. <https://www.imcyc.com/cyt/septiembre03/desperdicios.htm#:~:text=El%20desperdicio%20va%20desde%200.75,los%20espesores%20de%20las%20losas>
- Suárez Ántola, R. (2010). *Energías Alternativas* [Archivo PDF]
- Tendencias del desarrollo urbano en México*. (20 de junio de 2017). ONU HABITAT. <https://onuhabitat.org.mx/index.php/tendencias-del-desarrollo-urbano-en-mexico>
- Toni. (22 de octubre de 2019). *Economía lineal a circular, una transición necesaria*. Clickoala. <https://join.clickoala.com/economia-lineal-circular/>
- Torre BBVA Mexico City*. (s.f.). Obtenido de The Skyscraper Center: <https://www.skyscrapercenter.com/building/building/8713#location>
- Torre Reforma*. (2020). Obtenido de CIVITA edificios verdes: <https://civita.com.mx/proyectos/torre-reforma/>
- Tovar Alcázar, R., & Chargoy Amador, J. P. (s.f.). *EL ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA COMO HERRAMIENTA PARA LA SELECCIÓN DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN. Caso práctico – Cal hidratada en pasta* [Archivo PDF]
- Tovar Alcázar, R., & Chargoy Amador, J. P. (s.f.). *El análisis del ciclo de vida como herramienta para la selección de materiales de construcción*. ITESO. <http://www.foccal.org/descargas/ACV-CAL-EN-PASTA.pdf>
- Trad Nacif, J. (2019). Principio de Legalidad de Proyectos de Infraestructura en México. *CEJA. Revista Derecho Ambiental y Ecología* (pág. 37).

- Trejo Carvajal, N. A. (2018). *ESTUDIO DE IMPACTO DEL USO DE LA METODOLOGÍA BIM EN LA PLANIFICACIÓN Y CONTROL DE PROYECTOS DE INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN* [Archivo PDF].
- United Nations Environment Programme. (2022). *2022 Global status report for buildings and construction*. Global Alliance for Buildings and Construction.
- United Nations Environment Programme. (2022). *Informe sobre la situación mundial de los edificios y la construcción en 2022*. Global Alliance for Buildings and Construction.
- Universidad Le Cordon Bleu. (s.f.). *La ética encaminada hacia la sostenibilidad* [Archivo PDF].
- Urban Runoff: Low Impact Development*. (17 de julio de 2023). EPA. <https://www.epa.gov/nps/urban-runoff-low-impact-development>
- USGBC. (2021). *BUILDING OPERATIONS AND MAINTENANCE* [Archivo PDF].
- USGBC. (2023). *BUILDING DESIGN AND CONSTRUCTION* [Archivo PDF].
- V. E. (19 de mayo de 2015). *Construcción, sector más sensible a corrupción*. El Economista. <https://www.economista.com.mx/estados/Construccion-sector-mas-sensible-a-corrupcion-20150518-0169.html>
- Valenzuela Coca, M. T. (2013). *Efecto de la migración en el proceso productivo agropecuario en la comunidad de Link'u del municipio de Independencia* (Doctoral dissertation). Universidad de Cochabamba, Cochabamba, Bolivia.
- Vallejo Aguirre, V. M. (2014). *LAS DIVERSAS CERTIFICACIONES APLICABLES A LOS EDIFICIOS SUSTENTABLES EN MÉXICO* [Archivo PDF].
- Velásquez Monsalve, E. (2022). *Contaminación, automóviles y calidad del aire*. Obtenido de ONU Habitat: <https://onuhabitat.org.mx/index.php/contaminacion-automoviles-y-calidad-del-aire>
- Vivanco León, R. (2020). *El PMBOK y el análisis de valor en la construcción*. Project Design and Management, 2(1). <https://www.mlsjournals.com/Project-Design-Management/article/view/411#:~:text=El%20PMBOK%2C%20herramienta%20del%20PMI,con%20los%20requisitos%20del%20proyecto>
- WELL *Buildings Beyond the Feel-Good: Analyzing the Costs and Benefits*. (15 de agosto de 2022). Obtenido de Chester Energy and Policy: <https://www.chesterenergyandpolicy.com/blog/well-buildings-analyze-cost-benefit>
- Willmott Dixon. (diciembre de 2010). *The Impacts of Construction and the Build Environment*. <https://www.willmottdixon.co.uk/asset/9462/download>
- WORKFLOWS PROJECT – *Edificio Platinum*. (06 de mayo de 2021). Matter Atelier, S.L. Obtenido de <https://matter.group/blog/proyectos-8/post/workflows-project-edificio-platinum-73>
- Zabalza, I. (2011). *Adaptación de la metodología del análisis de ciclo de vida para la evaluación y la mejora del impacto energético y ambiental de la edificación en España* [Tesis de Doctorado, Universidad de Zaragoza] - Dialnet.
- Zaratiegui, J. M. (s/f). *Alfred Marshall y la teoría económica del empresario*. España. <https://dadun.unav.edu/bitstream/10171/6115/1/Marshall%20y%20la%20teor%C3%ADa%20econ%C3%B3mica.pdf>
- Zhexembayeva, N. (2014). *La Estrategia del Océano Esquilmado: cómo impulsar la innovación para adaptarse a la nueva economía circular*. Berrett-Koehler Publishers.
- Zinck, 2005; Guevara et al, 2014; FAO, 2015