

ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA: EDIFICACIONES

Centro Mario Molina

Enero de 2014

Resumen

Se llevó a cabo el análisis de ciclo de vida de cuatro casos de estudio: un auditorio, un edificio habitacional, un hospital y un edificio de oficinas. Para todos los casos se modelaron dos escenarios uno convencional, que consiste en la construcción y operación de una edificación bajo los estándares más comunes entre su tipo y uno eficiente, que consiste en la adecuación (o reconversión) de los edificios existentes y operación con tecnologías sobresalientes por su eficiencia. Para cada edificio y escenario se analizaron los impactos ambientales potenciales asociados a la extracción, manufactura y transporte de materiales, la construcción de los edificios y la ocupación de los mismos durante cincuenta años. Se encontraron diferencias significativas entre escenarios en las que se reconoce que la adecuación de edificios tiene beneficios ambientales importantes en todas las etapas de su ciclo de vida. En función de la categoría de impacto analizada y del tipo de edificio, se observó que la adecuación de los edificios puede reducir los impactos en 32 % o hasta en 94 %. En el estudio también se identificaron los principales flujos de los cuales existe poca información nacional disponible y se reconocen aquellos en los que se debería profundizar en investigación.

1 INTRODUCCIÓN

Los procesos de urbanización implican retos ambientales, sociales y económicos, ya que representan un incremento en la demanda energética, tanto para la manufactura y el transporte de materiales, como en la construcción y ocupación del suelo urbano. Actualmente existe una tendencia global al crecimiento de la población urbana, lo que implica una modificación en los hábitos de consumo de recursos y energía. El crecimiento urbano que se dio durante la historia de la humanidad y hasta el inicio del siglo XXI se duplicará en los próximos 30 años, y prácticamente todo este crecimiento se dará en los países no desarrollados. La población urbana en México aumentó de 42.6 % en 1950 a 77.8 % en 2010, y la tendencia continúa en la misma dirección. El acelerado crecimiento de las ciudades conlleva retos en todos los sectores; y específicamente, guarda una estrecha relación con el sector de la construcción¹.

Ante esta perspectiva, es de suma importancia entender los procesos vinculados a las edificaciones. Aunque actualmente no existe una herramienta única y simple que permita estimar de manera directa el impacto potencial del sector, el Análisis de Ciclo

de Vida (ACV) puede proveer información del desempeño ambiental de las edificaciones durante todas sus etapas, es decir, la metodología permite analizar el perfil ambiental de un edificio durante la extracción y manufactura de los materiales, el transporte de los mismos, la construcción, el uso y la demolición de la edificación. En cada etapa se analiza el consumo de los recursos y sus impactos potenciales asociados. A través de un ACV se puede conocer con detalle cuáles son los elementos clave en el perfil ambiental de las edificaciones, y reconocer las oportunidades para mitigar dichos impactos potenciales.

2 OBJETIVOS

Analizar el perfil ambiental de auditorios, edificios habitacionales mixtos, hospitales y oficinas, para identificar oportunidades de mejora en la gestión de recursos y energía, mediante cuatro estudios de caso.

3 METODOLOGÍA

Se siguió el estándar ISO 14046 para analizar el perfil ambiental de cuatro estudios de caso empleando el método CML2000. Los impactos potenciales fueron resumidos en cuatro categorías de impacto (acidificación, eutrofización, potencial de calentamiento global

¹ En cuanto al consumo final energético, de acuerdo con el Balance Nacional de Energía 2011 de la Secretaría de Energía, los sectores residencial, comercial y público consumen el 20 % de la energía del país.

y toxicidad humana) y expresados en términos de un solo contaminante ($kg SO_2eq$, $kg PO_4eq$, $kg CO_2eq$ y $kg 1,4 - DCBeq$, respectivamente).

Se utilizó el software *SimaPro V.7*, los resultados de estudios nacionales sobre ACV y la base de datos *Ecoinvent V.2* para los procesos sin información nacional disponible. Para la conformación de inventarios de ciclo de vida, se recopiló información directamente de la administración de los edificios, se realizaron estimaciones mediante paquetería especializada, o se tomaron mediciones directas (como en el caso de los residuos sólidos o los flujos de electricidad).

Como **unidad funcional**, se consideró la *construcción y operación de un edificio durante cincuenta años en el Valle de México*.

3.1 Estudios de caso

Como estudios de caso, se seleccionaron cuatro *tipos* de edificios: auditorio, habitacional, hospital y oficinas, localizados en la *Ciudad de México*.

El auditorio es un edificio de $1,016 m^2$ de construcción, con capacidad para doscientas personas. Este fue un caso de interés para el estudio por tener un comportamiento energético muy distinto a otros edificios, ya que tiene un consumo de energía discontinuo, producto de la intermitencia de su ocupación².

El edificio habitacional mixto tiene $960 m^2$ de construcción, en cuatro niveles, con dieciocho departamentos y dos locales comerciales en la planta baja³.

Los hospitales son edificios que destacan por la intensidad en la demanda de recursos y energía, ya que mantienen niveles de iluminación, confort térmico y calidad del aire las 24 horas al día. Desde esta perspectiva el hospital, con una superficie de $27,475 m^2$ de construcción, fue un edificio de especial interés⁴.

El edificio de oficinas tiene $896 m^2$ de construcción en tres niveles. El edificio fue sometido aun proceso de adecuación, de manera que integra diversos mecanismos para el uso eficiente del agua y la energía⁵.

²Durante los periodos de ocupación del auditorio, se hace un uso intenso de energía; por otro lado, mientras no está en operación, sus consumos son prácticamente nulos. Además, este edificio es actualmente candidato a un proceso de adecuación, por lo que la información relacionada con su perfil ambiental tiene aplicación directa.

³Esta edificación fue de interés para el estudio por el volumen de edificios habitacionales que existen en el país. Este edificio fue sometido a un proceso de adecuación, de manera que actualmente integra diversos mecanismos para el uso eficiente del agua y la energía.

⁴Al igual que el auditorio, el hospital es candidato a un proceso de adecuación.

⁵Este tipo de edificios fue de interés para el estudio por el

3.2 Escenarios

Para cada edificio se analizaron dos escenarios de desempeño: edificio convencional y edificio eficiente. Todos los escenarios fueron desarrollados con datos reales de los edificios. Para ello, se conformaron inventarios de ciclo de vida con información de la operación histórica, actual o de los programas de adecuación futura de los edificios.

El escenario convencional consiste en la construcción y operación de una edificación bajo los estándares más comunes entre su tipo. El escenario eficiente consiste en la adecuación (o reconversión) de los edificios existentes y operación con tecnologías sobresalientes por su eficiencia para los edificios de su tipo en México (estas incluyen el aprovechamiento de agua de lluvia o generación de energía en sitio con fuentes renovables, por ejemplo).

En los casos del auditorio y del hospital, se consideró como escenario convencional la operación actual y como escenario eficiente, la adecuación programada para el edificio. Los edificios habitacional y de oficinas operaron históricamente bajo estándares convencionales (escenario convencional); sin embargo, al momento de la preparación del presente estudio, ya habían pasado por un proceso de adecuación escenario eficiente. Esta condición permitió generar inventarios con datos reales mediante dos esquemas distintos de construcción y operación.

Para asegurar congruencia en las comparaciones, se consideró el mismo uso, superficie habitable y estructura del edificio entre escenarios.

Para el auditorio, los sistemas que diferencian el escenario convencional del eficiente son los siguientes: a) iluminación con lámparas fluorescentes compactas que sustituyen a las incandescentes, b) aislamiento térmico en el techo, c) la rehabilitación de los aislamientos del sistema de acondicionamiento de aire y d) una planta de tratamiento para agua residual.

Para el edificio habitacional, los sistemas que diferencian al escenario eficiente del convencional incluyen: a) reutilización de aguas grises, b) captación de agua pluvial con tratamiento para su uso como agua potable, c) calentadores solares para agua caliente y d) paneles fotovoltaicos iluminación de las áreas comunes del edificio y bombeo de agua.

Respecto al hospital, los sistemas que diferencian el escenario convencional del eficiente son: a) cogeneración de 1 MWh, que cubriría la demanda de energía eléctrica y vapor del edificio; b) una planta de trata-

volumen de edificaciones de su tipo.

miento de agua y c) iluminación con lámparas LED que sustituye a las lámparas fluorescentes compactas.

En el edificio de oficinas, los sistemas que diferencian al escenario eficiente del convencional son: a) iluminación LED que sustituye a los tubos fluorescentes T12, b) paneles fotovoltaicos que producen 54 % de la electricidad consumida en el edificio⁶; c) acondicionamiento de aire pasivo con invernaderos⁷, d) un sistema de calefacción por piso radiante, e) un sistema de captación de agua pluvial, d) un sistema de aislamiento de doble vidrio en la envolvente, y e) tubos solares para el aprovechamiento de la luz natural.

3.3 Etapas y grupos

Las etapas del ciclo de vida de los edificios que se consideraron fueron la de pre-uso, que incluye la extracción, la manufactura, el transporte de los materiales y la construcción del edificio; y la de uso, que incluye la operación (ocupación) del edificio.

Para facilitar el análisis de la información, los flujos⁸ fueron procesados en distintos grupos. Para la etapa de pre-uso, se consideraron los acabados⁹; el agua para la construcción, la estructura¹⁰, las instalaciones¹¹, los residuos de construcción y el transporte y la maquinaria¹². Respecto a la etapa de uso, se consideraron el agua potable, el agua residual, la energía eléctrica, el gas, el mantenimiento¹³ y los residuos sólidos urbanos.

3.4 Sensibilidad

Respecto al análisis de sensibilidad, se calcularon los impactos potenciales empleando de distintas fuentes de información. Los datos fueron procesados para verificar cómo las fuentes de información modificaban los resultados finales. Para esto, se utilizaron los flujos con impactos potenciales mayores.

⁶El sistema consiste en $84m^2$ de paneles con una capacidad de $193,3kWh/m^2$.

⁷El sistema evita la demanda de 7,400 kWh anuales por refrigeración.

⁸Acero, cemento, grava, arena, agua, electricidad, gas, residuos, etc.

⁹Pintura, piso de cerámica, impermeabilizantes, etc.

¹⁰Cimentación, muros, techos, etc.

¹¹Redes hidro-sanitarias, cableado, iluminación, etc.

¹²Transporte de materiales de construcción y maquinaria de construcción.

¹³Pintura, reemplazo de lámparas, reemplazo de celdas solares, impermeabilizante, etc.

4 RESULTADOS

El perfil ambiental de cada tipo de edificación depende de su función¹⁴; sin embargo, se pueden reconocer ciertas tendencias que se repiten en todos los estudios de caso. Una de ellas es que la etapa de uso tiene –proporcionalmente– impactos mayores que la etapa de pre-uso. Esto aplica para los dos escenarios analizados.

En los cuatro estudios de caso se observó una notable diferencia entre escenarios. La adecuación de edificios, representada por el escenario eficiente, influye de manera significativa tanto en la etapa de pre-uso, como en la de uso. En función de la categoría de impacto analizada y del tipo de edificio, se observó que la adecuación de los edificios puede reducir los impactos en 32 % o hasta en 94 % (auditorio de 45 a 61 %, edificio habitacional de 32 a 45 %, hospital de 55 a 94 % y edificio de oficinas de 61 a 72 % de reducción de impactos).

Es importante reconocer que algunas soluciones de eficiencia inciden en los resultados con mayor énfasis que otras. Estos aspectos se discuten con mayor profundidad en las siguientes secciones, pero vale la pena destacar algunas diferencias importantes entre grupos. Se observó que en la etapa de pre-uso la estructura del edificio y los acabados son los grupos con mayores impactos potenciales; mientras que en la etapa de uso destacan el consumo de energía eléctrica y la generación de agua residual. Por otra parte, se observó que los materiales presentan impactos que no necesariamente están vinculados a su proporción (masa) dentro del total del edificio. Un ejemplo de esto es que las instalaciones hidro-sanitarias representan menos de 0.5 % de la masa total de los edificios; pero tienen un impacto potencial similar al de la arena, que conforma cerca de 50 % de la masa total del edificio. En las siguientes secciones se describen el comportamiento específico de cada caso de estudio.

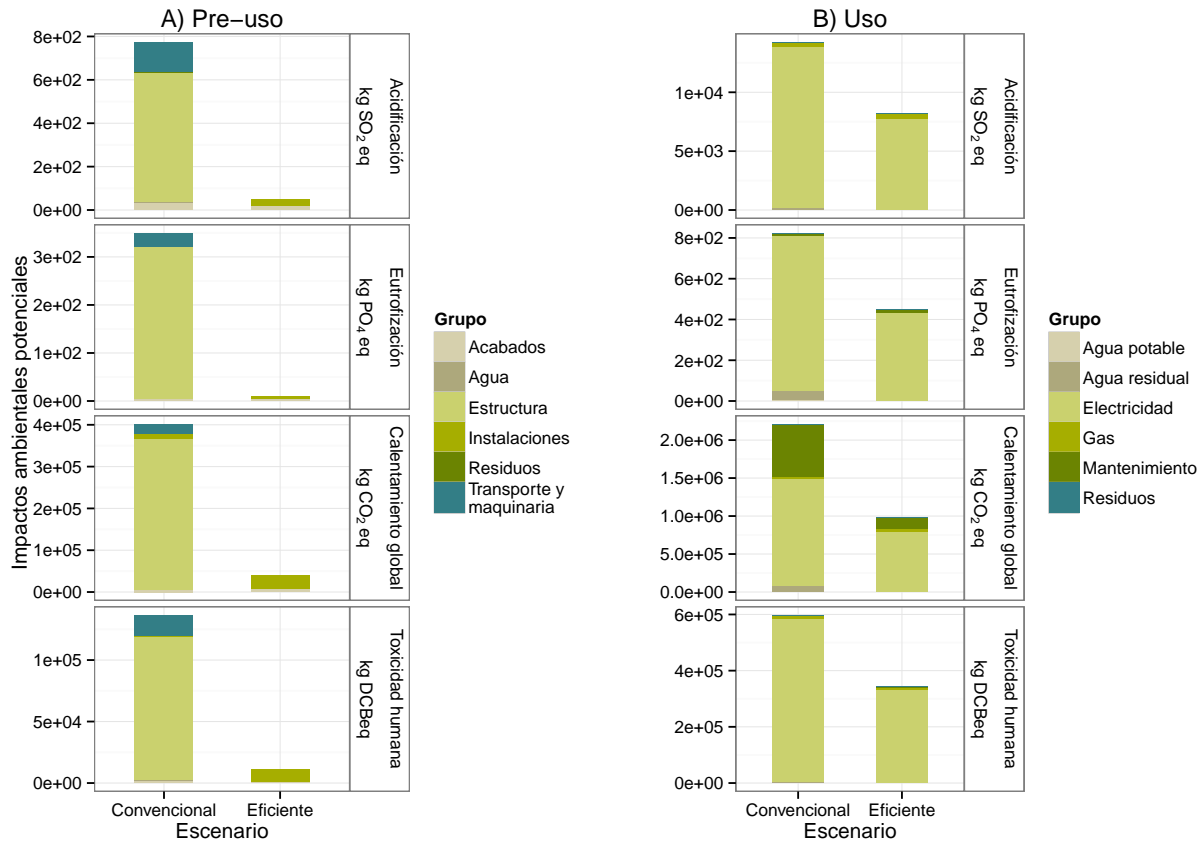
4.1 Auditorio

4.1.1. Escenario convencional

En el escenario convencional, la etapa de pre-uso representa entre 5 y 30 % de los impactos totales. Estos se encuentran asociados principalmente a la estructura básica del edificio, seguidos por los del transporte y la maquinaria de construcción. Es importante notar

¹⁴Por ejemplo, se encontró que el hospital tiene impactos potenciales significativos relacionados con los residuos. Esto se debe principalmente a la generación y manejo de residuos biológico-infecciosos.

Figura 1: Edificio de auditorio



Impactos ambientales potenciales asociados a las dos etapas del ciclo de vida del Auditorio.

que la madera que recubre el interior del auditorio (acabados) tiene impactos proporcionalmente bajos (ver figura 1.A).

La etapa de uso representa entre 70 y 95 % de los impactos totales. Las principales contribuciones están asociadas al uso de energía eléctrica y el mantenimiento del edificio, seguidos por el uso de gas natural para la calefacción (ver figura 1.B).

4.1.2. Escenario eficiente

En el escenario eficiente, los impactos potenciales de la etapa de pre-uso representan menos de cuatro por ciento del total. En esta etapa los impactos están relacionados principalmente a las instalaciones (específicamente a los sistemas de iluminación), y en menor medida a los acabados (aislamiento en techo).

Durante la etapa de uso se produce 96 % o más de los impactos totales. Como puede observarse en la figura 1.B, dichos impactos están relacionados principalmente al consumo de energía eléctrica. El mantenimiento del edificio presenta impactos potenciales

proporcionalmente menores, al igual que el uso de gas natural para la calefacción.

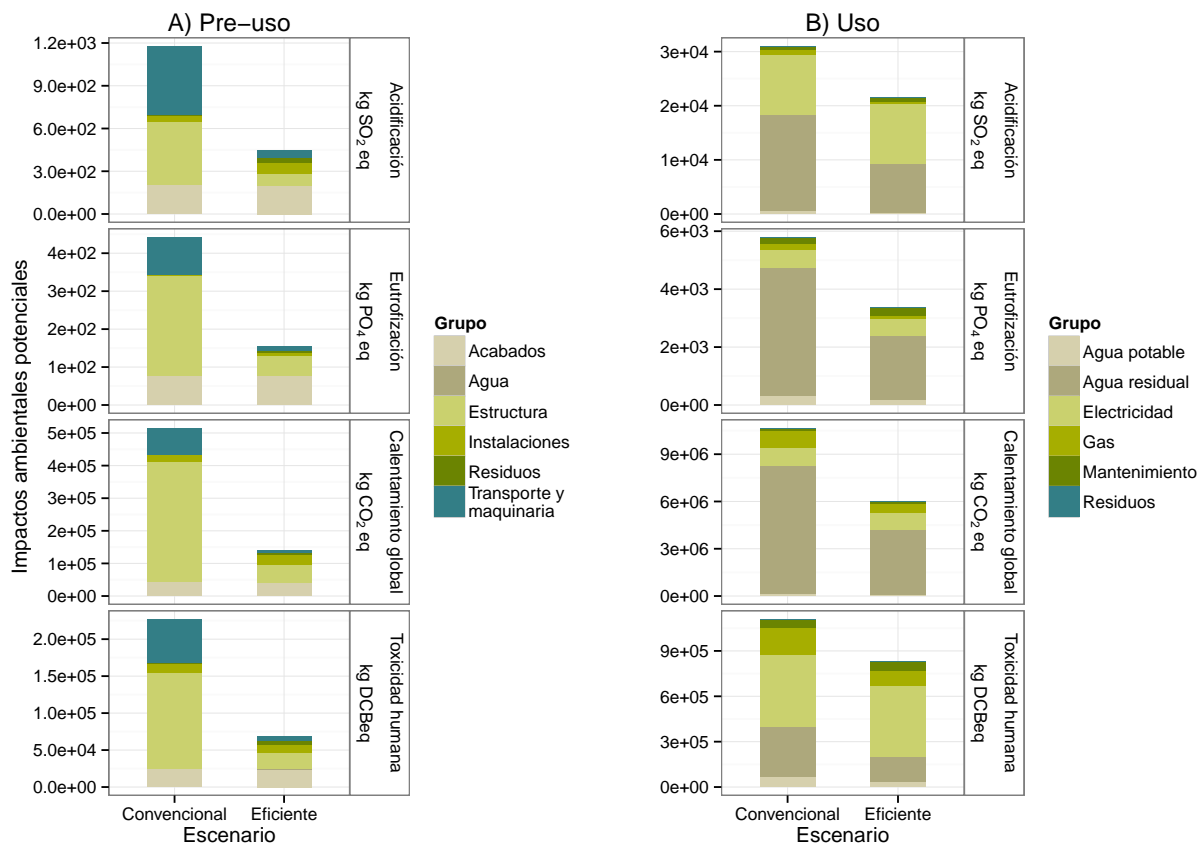
Es importante reconocer que la instalación de lámparas LED repercute en un incremento de los impactos ambientales potenciales relacionados a las instalaciones durante la etapa de pre-uso. Sin embargo, gracias a esta implementación, durante la etapa de uso los impactos se reducen cerca de 50 % respecto al escenario convencional.

4.2 Habitacional

4.2.1. Escenario convencional

En el escenario convencional, la etapa de pre-uso representa entre 4 y 16 % de los impactos totales. En esta etapa, los principales impactos están asociados a la estructura básica del edificio. El transporte de materiales y la maquinaria de construcción también tienen una contribución importante, especialmente para la categoría Acidificación. Finalmente, los acabados

Figura 2: Edificio habitacional



Impactos ambientales potenciales asociados a las dos etapas del ciclo de vida del edificio Habitacional.

también tienen un aporte significativo –de hasta una quinta parte de los impactos durante la etapa de pre-uso– en todas las categorías (ver figura 2.A).

La etapa de uso representa entre 84 y 96 % de los impactos totales. Las principales contribuciones están asociadas a la generación de agua residual y al uso de energía eléctrica y gas (ver figura 2.B).

4.2.2. Escenario eficiente

En el escenario eficiente, los impactos potenciales de la etapa de pre-uso representan entre 2 y 8 % del total. En esta etapa los impactos están relacionados principalmente a los acabados, a la estructura del edificio y a las instalaciones. Como puede observarse, los impactos asociados a la estructura del edificio son menos relevantes en este escenario, gracias al aprovechamiento de la estructura existente del edificio; sin embargo, aparecen en segundo lugar en importancia ya que el edificio sí requirió un refuerzo en su estructura. Lo anterior fue específicamente para satisfacer el reglamento de construcción vigente. Los acabados, a

diferencia de la estructura, generan el mismo impacto que en el escenario convencional.

Durante la etapa de uso de este escenario se genera entre 92 y 98 % de los impactos totales. Como puede observarse en la figura 2.B, las principales contribuciones, al igual que en el escenario convencional, están asociadas a la generación de agua residual y al uso de energía eléctrica y gas.

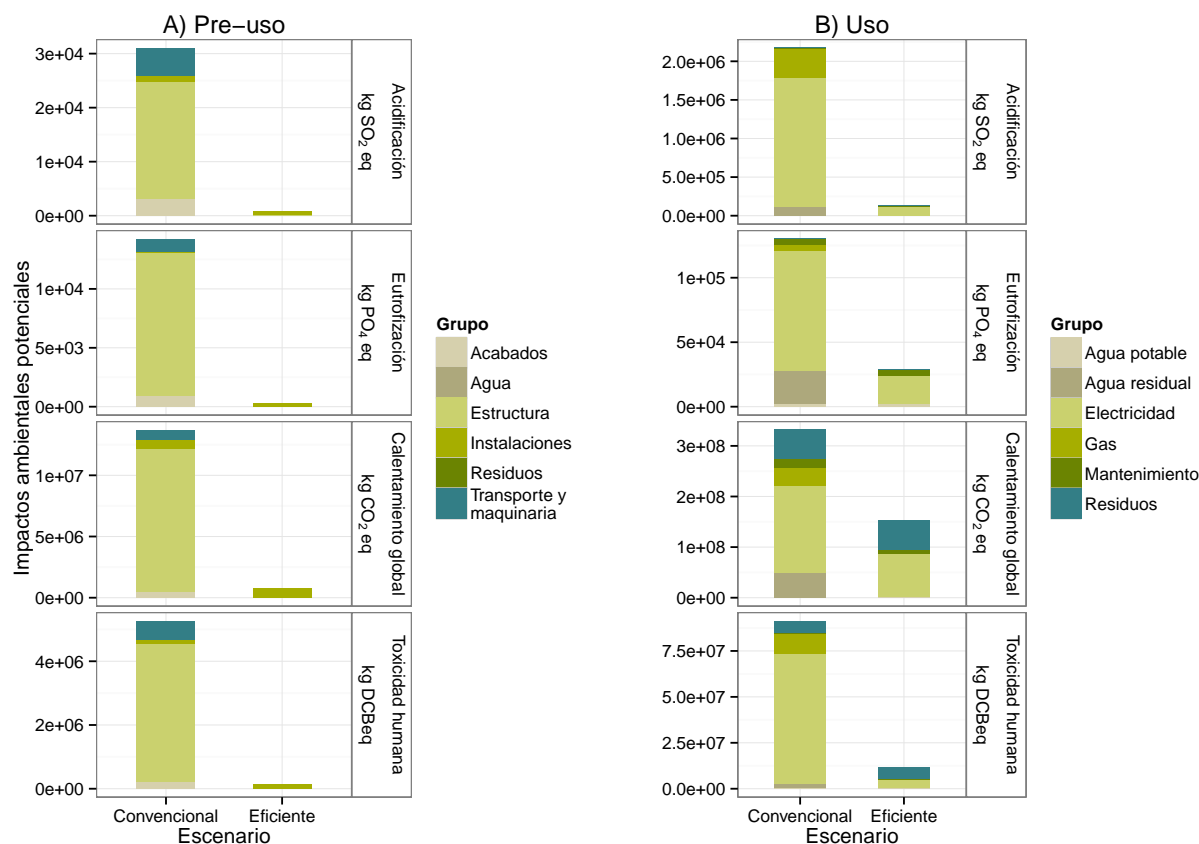
Las principales reducciones en los impactos en el escenario eficiente están asociadas al pre-tratamiento y aprovechamiento de aguas residuales y a una reducción en el consumo de gas (gracias a la instalación de calentadores de agua solares).

4.3 Hospital

4.3.1. Escenario convencional

En el escenario convencional, la etapa de pre-uso representa entre 1 y 10 % de los impactos totales. En esta etapa, los principales impactos están notablemente

Figura 3: Edificio de hospital, impactos potenciales



Impactos ambientales potenciales asociados a las dos etapas del ciclo de vida del edificio de Hospital.

asociados a la estructura básica del edificio (ver figura 3.A). El transporte de materiales y la maquinaria de construcción también tienen una contribución notable, a diferencia de los demás grupos.

La etapa de uso representa entre 90 y 99% de los impactos totales. Las principales contribuciones están asociadas al uso de energía eléctrica, al consumo de gas y a la generación de residuos, específicamente a aquellos de manejo especial (ver figura 3.B).

4.3.2. Escenario eficiente

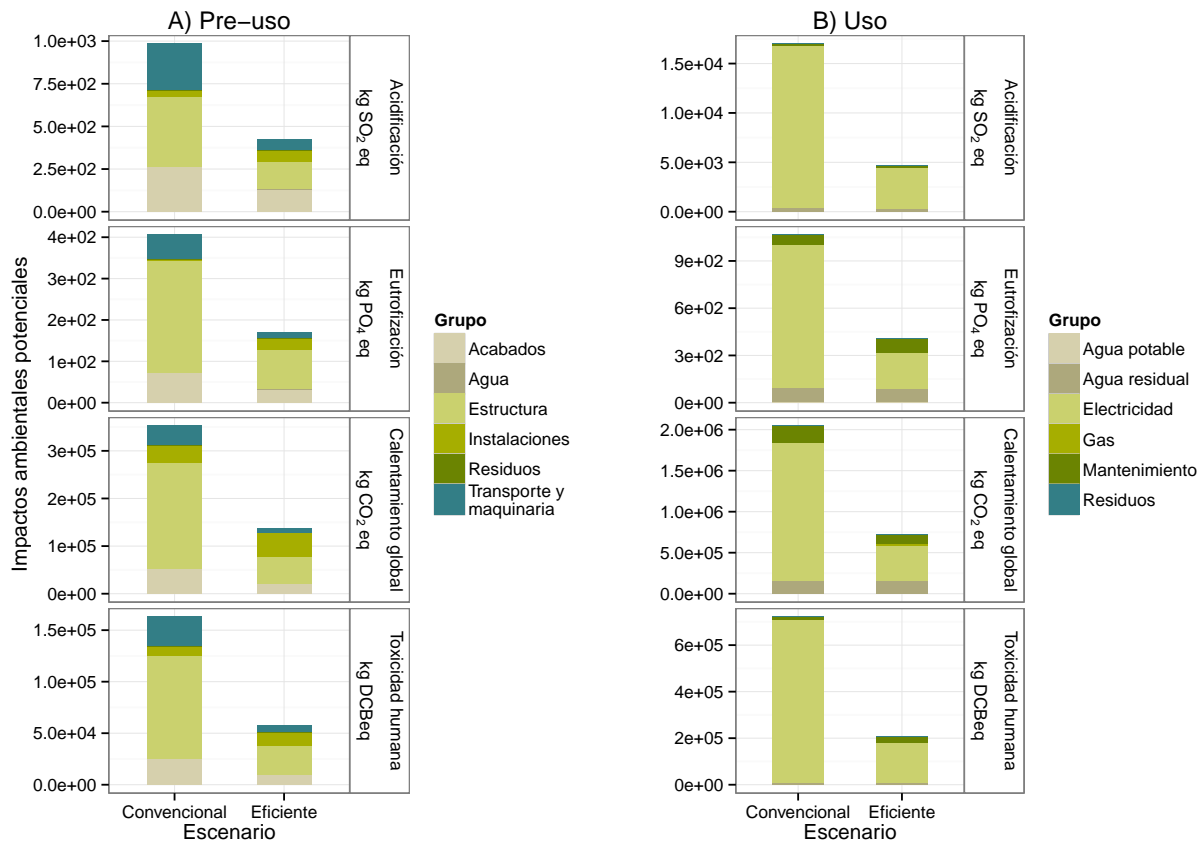
En el escenario eficiente, los impactos potenciales de la etapa de pre-usage representan aproximadamente un porcentaje del total. En esta etapa los impactos están relacionados principalmente a la construcción de una planta de tratamiento de agua y a la instalación de una planta de cogeneración. La reducción de los impactos en la etapa de pre-usage, respecto al escenario convencional es notable (los impactos se reducen

en 94%).

Durante la etapa de uso se genera aproximadamente 99% de los impactos totales. Como puede observarse en la figura 3.B, las principales contribuciones, al igual que en el escenario convencional, están asociadas al consumo de energía eléctrica y a la generación de residuos de manejo especial. En esta etapa los impactos se reducen de 6 a 46% respecto al escenario convencional, gracias a los sistemas de tratamiento de agua y de co-generación¹⁵.

¹⁵En este escenario se considera que el calor requerido en la operación y el uso de gas natural no tiene impactos potenciales propios, pues están implícitos en la cogeneración.

Figura 4: Edificio de oficinas, impactos potenciales



Impactos ambientales potenciales asociados a las dos etapas del ciclo de vida del edificio de Oficinas.

4.4 Oficinas

4.4.1. Escenario convencional

En el escenario convencional, la etapa de pre-uso representa entre 6 y 28 % de los impactos totales. En esta etapa, los principales impactos están asociados a la estructura básica del edificio, a los acabados, al transporte de materiales y a la maquinaria de construcción (ver figura 4.A).

La etapa de uso representa entre 72 y 94 % de los impactos totales. Las principales contribuciones están asociadas al consumo de energía eléctrica y en menor medida al mantenimiento del edificio y a la generación de agua residual (ver figura 4.B).

4.4.2. Escenario eficiente

En el escenario eficiente, los impactos potenciales de la etapa de pre-uso representan entre 8 y 30 % del total. En esta etapa los impactos están relacionados

principalmente a la estructura del edificio, a los acabados y a las instalaciones. Es importante notar que aunque en el escenario eficiente se considera el aprovechamiento de la estructura existente, esta presenta impactos notables en la etapa de pre-uso, ya que los invernaderos del sistema de acondicionamiento de aire requieren de una estructura de acero.

Durante la etapa de uso de este escenario se genera entre 70 y 92 % de los impactos totales. Como puede observarse en la figura 4.B, las principales contribuciones, están asociadas al uso de energía eléctrica, a la generación de agua residual y al mantenimiento del edificio.

Las principales reducciones en los impactos en el escenario eficiente están primordialmente asociadas a la reducción en el consumo de energía eléctrica con iluminación de tecnología LED e iluminación natural, al uso de un sistema pasivo de climatización y calefacción a gas, y a la producción de más de la mitad de

la energía eléctrica con paneles fotovoltaicos.

5 DISCUSIÓN

El estudio de análisis de ciclo de vida en edificaciones ha permitido reconocer tendencias y oportunidades en materia ambiental en cuatro estudios de caso: un auditorio, un edificio habitacional, un hospital y un edificio de oficinas. Comprender el perfil ambiental en cada etapa del ciclo de vida de estos edificios ha permitido analizar –desde distintas perspectivas– los principales retos ambientales asociados a la edificación. Aunque los estudios de caso no pueden emplearse para describir el comportamiento de todos los edificios de su tipo en México, este estudio abre una brecha en el campo de conocimiento que no había sido explorada anteriormente en el país. La continuidad de este estudio y las investigaciones posteriores que detone, permitirán anticipar nuevos retos en el uso eficiente de recursos y energía en el entorno construido.

El análisis de los distintos escenarios que se presentan muestra que los impactos ambientales potenciales pueden reducirse significativamente mediante la adecuación (o reconversión) de edificios. El aprovechamiento de las estructuras existentes y la implementación de tecnologías eficientes para el manejo de recursos y energía tienen efectos significativos en todos los casos analizados. Específicamente, se observaron reducciones en los impactos potenciales entre 45 y 61 % para el auditorio, entre 32 y 45 % para el edificio habitacional, entre 55 y 94 % para el hospital y entre 61 y 72 % para el edificio de oficinas.

Respecto a las principales barreras encontradas durante el desarrollo del proyecto, estas coinciden con las que habían sido identificadas en estudios previos del Centro Mario Molina, que radican en la falta de información histórica de los edificios y de la documentación (planos, presupuestos de obra, bitácoras, etc.) de la construcción y de los procesos de remodelación de los edificios. Probablemente, el reto más importante –y a la vez uno de los más simples de atender– es la medición de los consumos de recursos y energía al interior de los edificios. El volumen de agua de lluvia aprovechado en un edificio, por ejemplo, puede ser registrado con un medidor comercial y no demanda de una alteración compleja a las redes. Lo mismo aplica a los consumos de gas y electricidad; sin embargo, estos son procesos de los que no hay información disponible.

5.0.3. Perspectivas

En este estudio se reconoce que los impactos potenciales más importantes en los cuatro estudios de caso se encuentran en la etapa de uso de los edificios. Sin embargo, es conveniente en estudios posteriores no omitir el análisis de todas las etapas, ya que conforme se optimice el uso de recursos y energía durante la etapa de uso, los impactos relacionados a la etapa de pre-uso cobrarán –proporcionalmente– más relevancia. Lo anterior se debe a que la implementación de tecnologías más eficientes o pasivas aumenta la cantidad de materiales (y sus impactos potenciales asociados) en la etapa de pre-uso. Por ejemplo la instalación de paneles fotovoltaicos se asocia a la etapa de pre-uso de un edificio (los impactos potenciales aumentan), pero tiene un efecto en una reducción en el consumo de energía de la etapa de uso, donde los impactos potenciales disminuyen.

Actualmente la información respecto a los inventarios ciclo de vida nacionales es limitada. Esto aplica para los materiales de construcción, recursos, energéticos y residuos. En el presente estudio se han identificado aquellos flujos en los que es conveniente profundizar en investigación y en el desarrollo de inventarios. Evidentemente, se recomienda poner atención en los flujos que tienen los mayores impactos e incertidumbre asociada a sus cálculos (energía eléctrica y agua residual, especialmente); sin embargo, hay otros flujos de los que se tiene poca información nacional y que se recomienda explorar. Respecto a estos, para la etapa de pre-uso destacan el aluminio, el PVC y el vidrio. Para la etapa de uso se reconocen como principales oportunidades los sistemas de energía renovable (calentadores solares y paneles fotovoltaicos), el gas natural y el gas licuado de petróleo.