

EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES DEL NEXO AGUA, ENERGÍA Y ALIMENTOS DE LA CIUDAD DE MÉXICO DESDE LA PERSPECTIVA DE CICLO DE VIDA ORGANIZACIONAL

MARÍA ELENA VILLALBA PASTRANA
Y LEONOR PATRICIA GÜERCA HERNÁNDEZ

Introducción

Las ciudades son sistemas complejos que demandan recursos intensivamente, donde confluyen miles de insumos que generan miles de salidas, emisiones y descargas. Como discuten Angelo y Wachsmuth (2020), en los últimos años ha cambiado el paradigma de las ciudades como fuente de problemas a fuente de soluciones. Específicamente, se reconoce que las urbes pueden jugar un papel activo en el logro de la sostenibilidad (Saladini *et al.*, 2018; Momblanch *et al.*, 2019; Yuan *et al.*, 2021).

En términos ambientales, las ciudades a causa de su complejidad, no han sido estudiadas de forma integral, sino a través de evaluaciones fraccionadas (Petit-Boix *et al.*, 2017); lo cual ha generado indicadores ambientales sesgados e incompletos, principalmente por tres razones: 1) evalúan por separado las problemáticas de los sectores que integran la urbe sin reconocer sus interdependencias (Mirabella *et al.*, 2018; Petit-Boix *et al.*, 2017); 2) se limitan al análisis de impactos locales y no consideran impactos indirectos que se generan fuera de los límites urbanos (Albertí *et al.*, 2017; Chester *et al.*, 2012; Feleki *et al.*, 2018; Mori y Christodoulou, 2012); 3) porque en la mayoría de los casos se basan en un solo problema ambiental como es el caso de Cambio Climático (Albertí *et al.*, 2019; Beloin-Saint-Pierre *et al.*, 2017; Chester *et al.*, 2012).

En este sentido, para evitar la evaluación fragmentada de tipo sectorial, la literatura reconoce la importancia de analizar conjuntamente el Nexo Agua, Energía y Alimentos (Nexo AEA) debido a que estos sectores son interdependientes y su correcta gestión asegura el cumplimiento de derechos humanos, de las actividades económicas urbanas y contribuyen al logro de los objetivos de desarrollo sostenible (Jordán *et al.*, 2017; Perrone y Hornberger, 2014; Yuan *et al.*, 2021).

Hasta ahora, los sectores de agua, energía y alimentos se han analizado desde un enfoque aislado; además, las políticas públicas

se han diseñado e implementado para cada sector de manera independiente (Caputo *et al.*, 2021; UNECE, 2020). Lo anterior no representa la mejor forma de análisis, pues en un mundo hiperconectado con recursos finitos, las acciones e impactos que se tengan en un sector afectan al otro generando grandes desafíos para la seguridad hídrica, energética y alimentaria (Mannan *et al.*, 2018).

De acuerdo con Mannan *et al.* (2018), la metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) resalta la conectividad entre los impactos del Nexo AEA, el cual, permite generar una línea base que pueden usar de referencia los tomadores de decisiones para evaluar el desempeño y establecer nuevas medidas para reducir los impactos de todo el sistema. Debido a lo anterior, varios autores han optado por analizar el Nexo AEA mediante ACV para identificar oportunidades de mejora en distintas áreas como producción de alimentos, generación de energía, producción de biogás, uso y suministro de agua; de esta forma, construir un ambiente más sustentable (Al-Ansari *et al.*, 2015; Jeswani *et al.*, 2015; Pacetti *et al.*, 2015).

Paralelamente, se ha identificado que la metodología de ACV puede fundamentar con datos objetivos, la toma de decisiones más sustentables en el entorno urbano (Mirabella *et al.*, 2018), debido a que puede apoyar en la identificación de estrategias prioritarias que se deben de atender para evitar la transferencia de impactos entre etapas de ciclo de vida, territorios y categorías de impactos (Loiseau 2012; Petit-Boix *et al.*, 2017; Qi *et al.*, 2018).

En ese sentido, el Análisis de Ciclo de Vida Organizacional (ACVO), pese a que se especializa en evaluar impactos en organizaciones y empresas (UNEP, 2015; ISO/TS 14072, 2014); es un enfoque metodológico científicamente robusto, sistemático e integral que permitiría hacer un estudio integral de las ciudades considerando no solamente sus impactos ambientales a nivel local, sino considerando todo el ciclo de vida y la cadena de valor (Cremer *et al.*, 2020). Lo anterior, nos llevaría a identificar puntos críticos locales y sus implicaciones a nivel regional así como aspectos relacionados con el sector público y privado.

Por lo antes expuesto, tomando en consideración que la provisión de recursos como el agua, energía y alimentos es un elemento clave para la urbanización sostenible (Romero-Lankao *et al.* 2018), se identificó que delimitar el sistema urbano a través del Nexo AEA, puede ser una práctica robusta en términos científicos y en términos sistémicos, que permitiría obtener resultados representativos de la ciudad, ya que el nexo representa los impactos más importantes y las interacciones más relevantes.

Por lo anterior, este trabajo tiene como objetivo analizar los impactos ambientales del Nexo AEA de la Ciudad de México (CDMX) considerando el enfoque de Análisis de Ciclo de Vida Organizacional.

Metodología

El desarrollo de este trabajo se basa en la metodología de Análisis de Ciclo de Vida Organizacional (ISO TS 14072, 2014), que se ha utilizado con buenos resultados para evaluar impactos ambientales de organizaciones. Este enfoque metodológico se usa por primera vez para evaluar impactos en Ciudades, lo cual lleva a proponer modificaciones metodológicas que consisten en considerar el Nexo AEA de la Ciudad de México como el foco de los estudios en vez de una organización (lo que se denomina “organización de reporte”).

Se evaluaron los impactos ambientales de los suministros de alimento, agua y de energía de la CDMX, considerando como actividades directas a todas las que se llevan a cabo dentro de los límites administrativos de la entidad, y como actividades indirectas, a todas aquellas llevadas a cabo en lugares distintos a la CDMX, pero que forman parte de la cadena de valor del Nexo AEA, tanto corriente arriba (proveedores de agua, energía y alimentos) como corriente abajo (tratamiento y disposición de residuos sólidos y agua residual). Para el abastecimiento de energía se diferenció entre la energía obtenida por combustibles (gasolina, diésel, turbosina, gas LP y gas natural) o por energía eléctrica. Por ejemplo, toda la electricidad usada en la CDMX se genera fuera de la urbe; por tanto, en este trabajo la generación de energía eléctrica se considera como una actividad indirecta corriente arriba.

Para cuantificar los impactos de todas estas actividades directas e indirectas, se utilizaron como referencia la cantidad de agua, alimento, electricidad y combustibles consumidos en la Ciudad de México durante 2015, considerando, de acuerdo a ISO 14072 (ISO, 2014), el ciclo de vida de cada uno de los elementos del Nexo AEA, es decir, su origen, procesos de extracción de materias primas, procesamiento, transporte a la CDMX y uso en la CDMX.

Para modelar los impactos ambientales se empleó el *software* especializado Umberto NXT LCA, se utilizó el método de evaluación ReCiPe v1.13 con un modelo de caracterización de punto medio, con una perspectiva jerárquica que considera efectos a largo plazo (ReCiPe Midpoint (H)). Se evaluaron siete categorías de impacto: Cambio Climático, Agotamiento de Agua, Toxicidad Humana, Eutrofización de agua dulce, Ecotoxicidad de agua dulce, Acidificación Terrestre y Formación de Oxidantes Fotoquímicos. Todas estas categorías se seleccionaron con base a las problemáticas que enfrenta la CDMX a partir de una revisión de estudios con enfoques simi-

lares a éste (Qi *et al.*, 2018; Goldstein *et al.*, 2013; Armengot *et al.*, 2021; Al-Ansari *et al.*, 2015; Jeswani *et al.*, 2015; Pacetti *et al.*, 2015).

Resultados

Para todas las categorías de impacto ambiental analizadas, los impactos indirectos correspondientes a las actividades de los proveedores de agua, alimentos y energía son de mayor magnitud (entre 60% y 99% de los impactos totales) que los impactos que se presentan por las actividades directas de la CDMX.

Con respecto a los impactos directos de la CDMX, se identificó que las emisiones asociadas al consumo de combustibles causan las mayores contribuciones al Cambio Climático, Acidificación Terrestre y Formación de Oxidantes Fotoquímicos.

Como se puede observar en la Figura 1, las interacciones entre los sectores del Nexo AEA obedecen a que el agua es necesaria para el abastecimiento del servicio público de agua potable, en el sector agrícola para sistemas de riego, uso pecuario y en la industria de producción de fertilizantes. También, el agua es parte fundamental para los sistemas de producción de energía eléctrica y para la extracción de combustibles fósiles como el petróleo y gas natural (Sarkodie y Owusu, 2020).

Otro aspecto a destacar, es que, en comparación con las demás actividades, la producción de alimentos demanda mayor cantidad de agua (Figura 2), mostrando concordancia con la tendencia a nivel mundial (Silvestri *et al.*, 2022; World Water Assessment Program, 2009). De ese total, 39% de agua es requerida por los sistemas de producción de carne (cerdo, res y pollo), para uso directo en granja y para riego agrícola de los granos que componen la dieta de los animales (maíz, soya, trigo) (Asem-Hiablie *et al.*, 2019; Rivera-Huerta *et al.*, 2016).

De acuerdo con la Figura 2, el sector de la energía genera los mayores impactos en Cambio Climático debido al uso de combustibles para el transporte en la CDMX; como segundo contribuyente se identificaron las actividades de producción y transporte de combustibles y en tercer lugar, a los procesos de generación de energía eléctrica.

En general, en los estudios de ciclo de vida que se han realizado para la generación de energía eléctrica en México, señalan que las afectaciones de este sector al Cambio Climático se deben a que el mix energético del país depende mayoritariamente de la quema de combustibles fósiles (Santoyo-Castelazo *et al.*, 2011; Navarro-Pineda *et al.*, 2017).

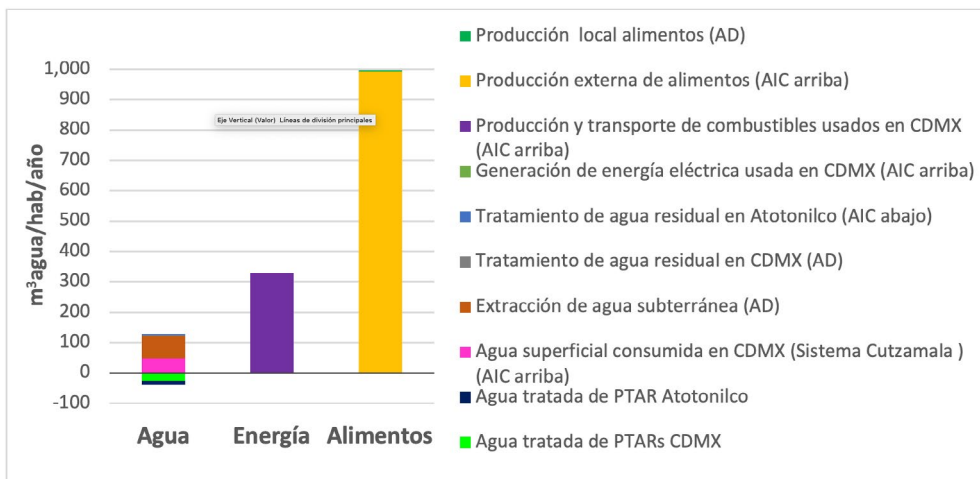


Figura 1. Impactos del Nexso AEA en la categoría de Agotamiento de Agua. AIC arriba: Actividad Indirecta Corriente Arriba, AD: Actividad directa, AIC abajo: Actividad Indirecta Corriente abajo

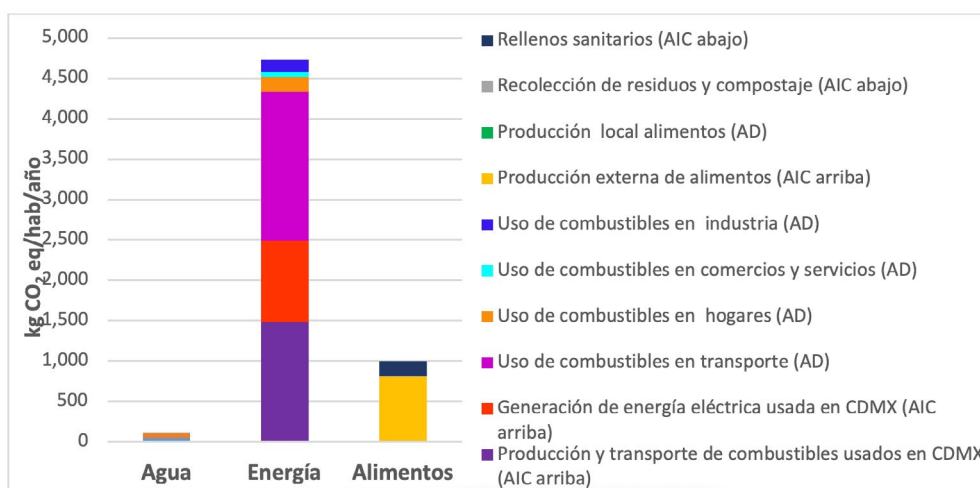


Figura 2. Impactos del Nexso AEA en la categoría de Cambio Climático. AIC arriba: Actividad Indirecta Corriente Arriba, AD: Actividad directa, AIC abajo: Actividad Indirecta Corriente abajo

Conclusiones

Los resultados de esta investigación muestran evidencia cuantitativa de la relevancia de incluir en las evaluaciones ambientales los impactos indirectos embebidos en las cadenas de producción de los alimentos, agua y energía consumidos por la CDMX. Dentro de las actividades indirectas del Nexso AEA, se observó que los procesos de producción de combustibles y generación de electricidad causan los mayores impactos al Cambio Climático. También, se identificó que para producir 80% de los alimentos consumidos en la CDMX, se utiliza mayor cantidad de agua que la demandada por las otras actividades indirectas y más agua que la destinada a consumo directo en la urbe.

Estos hallazgos respaldan la recomendación de que las ciudades deben desempeñar un papel más activo como fuente de soluciones, haciendo uso de su influencia tanto a nivel local como regional, para propiciar un uso responsable y eficiente de los recursos. |

Referencias

