

Proyecto IDDS22-54 titulado “Inventario de agua, energía y CO₂ de la producción de hormigón en Panamá”

Resumen

La industria de la construcción proporciona beneficios esenciales como viviendas, infraestructura y generación de empleos. Sin embargo, también conlleva impactos ambientales significativos, particularmente en la producción de materiales de construcción como el hormigón, el material más utilizado a nivel mundial. Para abordar estos impactos, el análisis de ciclo de vida (ACV) permite evaluar las contribuciones ambientales de un producto en cada fase de su existencia, desde la extracción de materias primas hasta su disposición final. Esta herramienta es fundamental para que las empresas comprendan y gestionen su impacto en el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). La elaboración de un ACV requiere de un inventario detallado del producto, y aunque existen bases de datos internacionales, no se cuenta con uno para el contexto nacional de Panamá. Este proyecto se planteó con el objetivo de analizar el impacto ambiental de la producción de hormigón en el país, respondiendo a los efectos ambientales de la construcción, y creando un inventario de ciclo de vida de consumos de agua, energía y emisiones de CO₂ de la producción de hormigón en Panamá, para evaluar sus potenciales impactos ambientales (huella hídrica y de carbono) e identificar estrategias para su reducción.

Antecedentes

La producción de materiales a base de cemento, como el hormigón, ha cobrado gran relevancia mundial debido a su versatilidad, bajo costo y la amplia disponibilidad de sus componentes (Han et al., 2017; Scrivener et al., 2016). Este material ofrece importantes beneficios socioeconómicos en la construcción de viviendas e infraestructura (Irassar et al., 2020), especialmente en países en vías de desarrollo donde el crecimiento poblacional impulsa el desarrollo continuo de construcciones. Sin embargo, la industria del hormigón también genera impactos ambientales significativos, debido a su elevado consumo de agua y energía, así como a la emisión de grandes cantidades de CO₂ y residuos (Petek Gursel et al., 2014).

Para abordar estos desafíos, el proyecto partió de la necesidad de desarrollar una perspectiva de sostenibilidad en la industria del hormigón en Panamá, alineándose con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) establecidos por las Naciones Unidas (Consejo de la Concertación Nacional para el Desarrollo, 2017). Conscientes de esta necesidad de datos locales, el proyecto se propuso desarrollar un inventario de ciclo de vida para la producción de hormigón en Panamá, permitiendo evaluar el consumo de agua, energía y emisiones de CO₂ asociados a sus procesos.

Justificación y problema a investigar

El hormigón, compuesto en su mayor parte por agregados, cemento, agua y aditivos, es un material que requiere procesos de producción que consumen significativas cantidades de agua y energía y que generan emisiones de CO₂. Dentro de las plantas, además de la producción en sí, otras actividades como el lavado de camiones y limpieza del patio, y el control de polvo, también contribuyen a los consumos de recursos y las emisiones. Sin una medición precisa de estos factores, resulta imposible desarrollar estrategias para su reducción. Como señala (Kelvin, 1891), *“Si no puedes medirlo, no puedes mejorarlo”*.

Tomando en cuenta todo lo mencionado, se hace evidente la importancia de desarrollar una investigación basada en el área de producción de hormigón en Panamá, en donde se evalúen cuáles

son los potenciales impactos para las rutas tecnológicas de producción de hormigón; de tal manera que se puedan identificar y estimar los impactos ambientales ocasionados y con el fin de buscar la forma de reducir estos impactos promoviendo la sostenibilidad en la industria de la construcción en consonancia con los ODS. El potencial de este proyecto para avanzar en el conocimiento consiste en llenar el vacío que existe en cuanto a información ambiental de una actividad tan importante para Panamá como lo es la producción de hormigón.

Beneficios y principales beneficiarios

Beneficios

La contribución de este proyecto para avanzar en el conocimiento consiste en llenar el vacío que existe en cuanto a información ambiental de una actividad tan importante para Panamá como lo es la producción de hormigón. Este inventario permitirá posteriormente estimar la huella hídrica y huella de carbono e identificar estrategias para la disminución de dichos impactos hacia un desarrollo sostenible. La información que se genera constituye un beneficio social y ambiental, con fundamento en investigaciones que aportarán conocimiento para tomar medidas para conservar y mejorar el ambiente en nuestras ciudades, redundando en disminución de potenciales impactos ambientales de la producción de hormigón. Este proyecto busca además de generar conocimiento sobre aspectos ambientales de la producción de hormigón, desarrollar competencias de investigación integrando estudiantes de tesis, asistentes de investigación e investigadores a nivel internacional.

Beneficiarios

- La comunidad científica, academia e industria se ven beneficiadas por una parcería muy poco vista pero tan necesaria como es aquella entre la academia y la industria que además cuenta con colaboradores internacionales con vasta experiencia en el tema.
- Las unidades colaboradas se ven beneficiadas al contar con recursos para investigación, movilización, participación en eventos de carácter científico y difusión de resultados.
- Los estudiantes, profesionales y público general se ven beneficiados por medio de capacitaciones y talleres brindados por reconocidos expertos.
- Los estudiantes participantes en el proyecto se ven beneficiados al desarrollar su trabajo de tesis en el marco del proyecto bajo la supervisión de los investigadores, adquiriendo valiosa experiencia y participando en eventos de carácter científico.
- La industria se verá beneficiada con un documento técnico de impactos y recomendaciones en base a los resultados obtenidos en el proyecto incluyendo el inventario de agua, energía y CO₂ de la producción de hormigón en Panamá y oportunidades de reducción de los consumos de agua, energía y emisiones de CO₂ de la producción de hormigón en Panamá que les permitirá tomar las acciones pertinentes hacia un desarrollo sostenible.

Impacto esperado

Por medio de los resultados de este proyecto se busca disminuir la presión sobre los recursos hídricos y energéticos que brindan servicios ecosistémicos y que la sociedad requiere para sus necesidades básicas pero que cada día se encuentran más escasos. Por otro lado, se busca garantizar

que la población continúe aprovechando los beneficios del hormigón (viviendas e infraestructura), de manera sostenible. Además, hay un potencial aporte económico debido a que, reducir los impactos ambientales del hormigón permite que siga siendo producido y generando empleos además de reducir los costos asociados al consumo de agua y energía.

Las conclusiones de este proyecto serán presentadas a las empresas productoras de hormigón del país por medio de la Asociación Panameña de Productores de Concreto (APACRETO) por medio de un documento técnico de resultados y recomendaciones de manera que la industria pueda aprovechar los resultados y tomar decisiones en base a dichos resultados. Por ejemplo, se espera que las empresas concentren sus esfuerzos en disminuir los consumos y emisiones de los procesos que sean identificados como procesos de mayor impacto e implementen las mejores prácticas de producción identificadas en este estudio.

Este proyecto contribuye a la consolidación del grupo de investigación *Sustainable Construction UTP* (https://www.utp.ac.pa/documentos/2020/pdf/sustainable_construction_utp2.pdf).

Objetivos del proyecto

Objetivo general

Crear un inventario de ciclo de vida de consumos de agua, energía y emisiones de CO₂ de la producción de hormigón en Panamá de manera que se puedan evaluar sus potenciales impactos ambientales (por ejemplo, huella hídrica y huella de carbono) e identificar estrategias para la disminución de dichos impactos.

Objetivos específicos

1. Describir las rutas tecnológicas de producción de hormigón en Panamá por medio de diagramas de flujo incluyendo los flujos de agua, energía y CO₂ por proceso.
2. Estimar los consumos de agua, energía y emisiones de CO₂ por proceso dentro de la producción de hormigón en Panamá por medio de datos provistos por la industria.
3. Comparar los consumos de agua, energía y emisiones de CO₂ de Panamá con el benchmark¹ internacional por medio de datos provistos por la Universidad de Sao Paulo.
4. Identificar oportunidades de reducción de los consumos de agua, energía y emisiones de CO₂ de la producción de hormigón en Panamá en base a las giras técnicas y opiniones de expertos.
5. Comunicar las oportunidades de reducción de los consumos de agua, energía y emisiones de CO₂ de la producción de hormigón en Panamá por medio de un documento técnico.
6. Desarrollar capacidades a nivel nacional en investigación a través de la colaboración internacional y el desarrollo de trabajos de investigación que sirvan de base para futuras investigaciones en el área.

Colaboradores del proyecto

- Investigador principal (IP): Dra. Yazmin Mack
- Co-investigador 1 (Co-IP 1): Dra. Ka Lai Ng
- Co-investigador 2 (Co-IP 3): Dr. Francisco Grajales
- Co-investigador 3 (Co-IP 2): Dra. Melisabel Muñoz

¹ Se refiere a la práctica de comparar procesos y métricas de desempeño con las mejores prácticas de la industria.

- Co-investigador 4 (Co-IP 4): Dr. Vanderley John
- Co-investigador 5 (Co-IP 5): Mgtr. Fernanda Belizario Silva
- Asistente de investigación: Michelle Ruíz
- Asistente de investigación: Larisa Almengor
- Asistente de investigación: Yamileth Lima
- Asistente de investigación: Natasha Gómez
- Estudiante de tesis: Yamileth Lima
- Estudiante de tesis: Luis Sulbarán
- Asistente de laboratorio: Luis Isaza
- Asistente de laboratorio: Alcibiades Vega
- Centro Experimental de Ingeniería de la Universidad Tecnológica de Panamá (CEI)
- Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Tecnológica de Panamá (FIC)
- Laboratorio de Microestructura y Ecoeficiencia de Materiales de Construcción (LME) del Departamento de Ingeniería de Construcción Civil de la Escuela Politécnica de la Universidad de Sao Paulo e Instituto Nacional de Ciencia y Tecnología (INCT) Tecnologías Cimenticias Ecoeficientes Avanzadas (CEMtec)
- Asociación Panameña de Productores de Concreto (APACRETO)

Metodología

La población del proyecto consiste en veinte plantas productoras de hormigón en Panamá. Inicialmente se evaluaron plantas de producción de hormigón ubicadas en la ciudad de Panamá, en donde se encuentran la mayoría, y posteriormente se amplió el estudio a plantas de producción de hormigón ubicadas en el interior del país.

El proyecto es coordinado por la investigadora principal quien junto con los coinvestigadores lideran diferentes actividades. Tanto la investigadora principal como los colaboradores internacionales cuentan con vasta experiencia en proyectos de análisis de ciclo de vida de materiales de construcción y colecta de inventario de ciclo de vida. Además, se cuenta con estudiantes de tesis que desarrollaron su investigación en el marco de este proyecto y con asistentes de investigación para apoyar en las distintas actividades.

Se realizó una revisión de la literatura (Rowley & Slack, 2004; Torracó, 2016) científico-académica relacionada con producción de hormigón y sus potenciales impactos ambientales debido al consumo de agua, energía y emisiones de CO₂.

Se llevó a cabo la adquisición de diversos equipos e insumos científicos, incluyendo dispositivos de captura de datos ambientales y herramientas para la recopilación de información en campo, así como materiales bibliográficos y de seguridad. Esto fortaleció las capacidades técnicas del equipo para realizar visitas de campo de manera segura y eficaz en las distintas plantas de producción de hormigón. Adicionalmente, se integraron reuniones periódicas de coordinación con los investigadores y las empresas colaboradoras, en las cuales se discutieron y analizaron los resultados preliminares y se aseguraron ajustes oportunos en el desarrollo del proyecto.

Un componente clave fue la capacitación en construcción sostenible y análisis de ciclo de vida, liderada por expertos de la Universidad de Sao Paulo. Además, se realizaron talleres enfocados en el uso de formularios de recolección de datos para asegurar la uniformidad en el registro de información durante las giras técnicas en plantas de hormigón.

Las giras técnicas se efectuaron en 20 plantas de producción de hormigón, tanto en Ciudad de Panamá como en áreas del interior, permitiendo levantar rutas tecnológicas detalladas de consumo de agua, energía y emisiones de CO₂. Esta información se integró en un inventario de ciclo de vida que proporciona una visión completa de los flujos de recursos y los impactos ambientales de cada proceso productivo.

Además del desarrollo científico y tecnológico que se busca alcanzar con este proyecto, es necesaria su divulgación para su mejor aprovechamiento. Este proyecto ha contemplado distintas actividades de divulgación entre la comunidad científica, academia, industria y el público en general por medio de actualizaciones en las páginas web de los centros vinculados al proyecto, capacitaciones, talleres, participación en congresos relacionados a los temas del estudio, un documento técnico de impactos y recomendaciones a la industria y redacción de artículos científicos.

Resultados esperados

Resultados de la Etapa I

1. Equipos y materiales adquiridos.
2. Contrato de ayudante de investigación.
3. Recurso humano en formación.
4. Revisión de literatura.
5. Datos del Laboratorio de Microestructura y Ecoeficiencia de Materiales de Construcción de la USP.
6. Reuniones de coordinación realizadas.
7. Personal del proyecto capacitado.
8. Formularios elaborados.
9. Proyecto divulgado.
10. Informe técnico y financiero de la Etapa I elaborados y entregados.

Resultados de la Etapa II

1. Equipos y materiales adquiridos.
2. Recurso humano formado.
3. Reuniones de coordinación realizadas.
4. Capacitaciones brindadas.
5. Talleres realizados.
6. Giras técnicas realizadas.
7. Informe intermedio de avance de la Etapa II elaborado y entregado.
8. Documento técnico de resultados y recomendaciones a la industria redactado.
9. Artículo científico redactado.
10. Presentaciones en jornadas o congresos científicos nacionales y/o internacionales realizadas.
11. Trabajos de tesis culminados.
12. Informe técnico y financiero de la Etapa II e informe final del proyecto elaborados y entregados.

Referencias bibliográficas

- Consejo de la Concertación Nacional para el Desarrollo. (2017). *Plan Estratégico Nacional con Visión de Estado ODS Panamá 2030*.
<https://www.pa.undp.org/content/panama/es/home/library/poverty/plan-estrategico-nacional-con-vision-de-estado-2030.html>
- Han, B., Zhang, L., & Ou, J. (2017). *Smart and Multifunctional Concrete Toward Sustainable Infrastructures*. Springer, Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-10-4349-9>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2021). *Informe IPCC: Cambio Climático 2021. Repercusión en la Seguridad Nacional | DSN*. <https://www.dsn.gob.es/es/actualidad/sala-prensa/informe-ipcc-cambio-clim%C3%A1tico-2021-repercusi%C3%B3n-seguridad-nacional>
- Irassar, E. F., John, V. M., Tobón, J. I., Punhagui, K. R. G., & Vergara, Y. L. M. (2020). Ciudades sostenibles y resilientes: El desafío latinoamericano. *Cemento & Concreto de Iberoamérica y El Caribe*, 7. <https://www.ficem.org/revista-concreto-y-cemento-2020/mobile/index.html>
- Kelvin, W. T. B. (1891). *Popular Lectures and Addresses*. Macmillan and Company.
- Petek Gursel, A., Masanet, E., Horvath, A., & Stadel, A. (2014). Life-cycle inventory analysis of concrete production: A critical review. *Cement and Concrete Composites*, 51, 38–48. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2014.03.005>
- Rowley, J., & Slack, F. (2004). Conducting a literature review. *Management Research News*, 27(6), 31–39. <https://doi.org/10.1108/01409170410784185>
- Scrivener, K. L., John, V. M., & Gartner, E. M. (2016). *Eco-efficient cements: Potential, economically viable solutions for a low-CO₂, cementbased materials industry* (p. 50). United Nations Environment Programme. <https://imc.epfl.ch/files/content/users/184559/files/2016-UNEP%20Report-Complete6.pdf>
- Torraco, R. J. (2016). Writing Integrative Literature Reviews: Using the Past and Present to Explore the Future. *Human Resource Development Review*, 15(4), 404–428. <https://doi.org/10.1177/1534484316671606>
- United Nations. (2022). *The United Nations World Water Development Report 2022: Groundwater: Making the invisible visible*. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000380721>

