

Regulación de recursos naturales en proyectos de ingeniería civil para el desarrollo sostenible

Gabriel Jesús Montúfar Chiriboga

E-MAIL: gabriel.montufar@up.ac.pa

Universidad de Panamá, Facultad de Ingeniería

RESUMEN

La regulación de los recursos naturales en proyectos de ingeniería civil constituye uno de sus principales pilares para el desarrollo sostenible, especialmente en aquellos espacios donde la extracción y uso de recursos como la arena, los sedimentos y los residuos de la construcción son capaces de propiciar altos impactos ambientales. Esta revisión sistemática indaga en investigaciones recientes en gobernanza sobre la extracción de arena, la economía circular de la construcción, las prácticas de dragado, las compras públicas ecológicas y las evaluaciones de impacto ambiental, con el objetivo de determinar alternativas que concilien el avance económico con la protección/conciencia ecológica. Se incorporan veintinueve artículos seleccionados en función de los criterios de inclusión criterios de idoneidad temáticas y robustez metodológica para regiones como Ghana, Malasia, Vietnam y otras partes del mundo. Los resultados destacan que la extracción ilegal de la arena degrada la fertilidad del suelo y las comunidades agrícolas; la economía circular genera menos desperdicio debido al reciclado de materiales; las políticas de compras públicas ecológicas extreman los criterios ambientales aplicados a las licitaciones; y la evaluación de impacto ambiental demanda simplificaciones de los modelos de forma coherente para no provocar un cierto retraso, pero, a la vez, sin limitar una cierta protección.

PALABRAS CLAVES: Desarrollo sostenible; recursos naturales; ingeniería civil; gestión ambiental; evaluación del impacto ambiental

Regulation of natural resources in civil engineering projects for sustainable development

ABSTRACT

The regulation of natural resources in civil engineering projects constitutes one of the main pillars for sustainable development, especially in those areas where the extraction and use of resources such as sand, sediments, and construction waste can lead to significant environmental impacts. This systematic review investigates recent research on governance regarding sand extraction, the circular economy of construction, dredging practices, eco-public procurement, and environmental impact assessments, with the aim of identifying alternatives that reconcile economic progress with ecological protection/awareness. Twenty-nine articles are included, selected based on the inclusion criteria of thematic suitability and methodological robustness for regions such as Ghana, Malaysia, Vietnam, and other parts of the world. The results highlight that illegal sand extraction degrades soil fertility and farming communities; the circular economy generates less waste due to the recycling of materials; eco-public procurement policies strengthen environmental criteria applied to tenders; and environmental impact assessment requires coherent simplifications of models so as not to cause delays but, at the same time, without limiting certain protections.

KEYWORDS: Sustainable development; natural resources; civil engineering; environmental management; environmental impact assessment

01 INTRODUCCIÓN

La ingeniería civil se posiciona como uno de los pilares fundamentales del avance de las sociedades actuales, ya que le procura la elaboración de infraestructuras para la promoción del crecimiento económico y el bienestar de las personas. Pero, esta disciplina, evidencia que el uso abusivo de los recursos naturales como arena, agua y agregados genera enormes problemas ambientales. En un mundo signado por el cambio climático y el deterioro de los ecosistemas, la gestión adecuada de este tipo de recursos es una necesidad para el desarrollo sostenible. Algunos autores informan de que la extracción sin control de arena, por ejemplo, causa erosión de márgenes ribereños y pérdida de biodiversidad, repercutiendo en las propias comunidades locales (Essaw et al., 2023; Hemmler et al., 2024).

El desarrollo sostenible, que se entiende como la búsqueda del equilibrio entre las necesidades presentes y futuras, requiere marcos normativos que tengan en cuenta aspectos ambientales en los proyectos de ingeniería civil. En lugares como el delta del Mekong o en Ghana, la minería de arena para la construcción ha generado conflictos entre los usos agrícolas y urbanos, subrayando la necesidad de una gobernanza participativa (Yuen et al., 2024; Asare et al., 2024). De una forma equivalente, el tratamiento de los residuos procedentes de la construcción y la demolición (RCD) se configura como otro de los casos críticos, donde la economía circular se presenta como estrategia para reducir el desperdicio y hacer un uso alternativo del material, limitando el uso de recursos naturales (Papamichael et al., 2023; Andersson y Buser, 2022).

La revisión sistemática que tenemos como objetivo persigue en última instancia sintetizar la evidencia científica sobre la gobernanza de los recursos naturales en los proyectos de la ingeniería civil, abordando cuestiones que puedan ir desde la gobernanza de la extracción de arena, dragado ambiental, las compras públicas verdes como las valoraciones de impactos ambientales. El propósito último es identificar prácticas que favorezcan la sostenibilidad, cubriendo las lagunas existentes en la literatura. Se postula que una buena regulación no sólo reduce daños medioambientales, sino que mejora el uso de los recursos, contribuyendo así a finalidades planetarios como los que se encuentran detrás de la Agenda 2030 de la ONU. Esta revisión es producto de una revisión estricta, de tipo estructurado, en la que se han seleccionado sólo los estudios que sitúan en relación las expectativas de daños en la naturaleza con aquellos impactos sabidos que ofrecen respuestas posibles, optando por casos que tienen en común consideraciones de países en vías de desarrollo donde la presión sobre los recursos es más fuerte.

El tema se complica en iniciativas de gran escala, como las represas o las infraestructuras de comunicación, las que producen una extracción de materiales que dan lugar a cambios en los ecosistemas acuáticos y terrestres. Un caso es el dragado para el mantenimiento de puertos que genera una fase de turbidez que daña la calidad del agua y la fauna de los mares (De Padova et al., 2022; Muñoz et al., 2022). Asimismo, la evaluación de impacto ambiental se perfila como uno de los instrumentos regulatorios por excelencia, cuya simplificación debe equilibrarse para que no existan demoras en la obtención del consentimiento, tampoco en la obtención de permisos, todo ello sin que la protección sea en ningún modo perjudicada (Enríquez-de-Salamanca, 2021; Fischer et al., 2023), de donde surgen las demandas y elementos de la introducción de adquisiciones públicas ecológicas que fomentan la elección de materiales de construcción sostenibles, generando una influencia potencial de la adquisición pública verde -"green public procurement"- en la cadena de suministro de la ingeniería civil (Ahmed et al., 2024; Montalbán-Domingo et al., 2023).

La revisión trata sobre estos aspectos con el auxilio de un análisis sistemático, encontrando que la falta de responsabilidad social y una regulación inadecuada producen impactos negativos (Tran et al., 2023); además, se reitera la importancia de enfoques gestionados por los sistemas sociales-ecológicos para el manejo de los riesgos de inundaciones urbanas mediante soluciones naturales, integrando la regulación de recursos humanos con la planificación civil (Zhou et al., 2024), pero se finaliza hablando de cómo la compensación por pérdida de biodiversidad y la restauración de los ecosistemas acuáticos pueden mitigarse por los efectos de los proyectos de ingeniería, pero alcanzar sus resultados finales de equilibrio sostenible (Mancini et al., 2024; Ciscato & Harris, 2025).

Esta primera sección introductoria acaricia la parte del marco conceptual, predefiniendo, pues, el escenario para la metodología de revisión empleada, reconociendo que la ingeniería civil tiene que aproximarse a prácticas regladas que propongan de una u otra forma la conservación, y asegurando de esa manera que la planificación civil no obstaculice la disponibilidad de recursos naturales en el tiempo.

02 METODOLOGÍA

La metodología de esta revisión sistemática sigue un enfoque ordenado para asegurar la validez y la reproducibilidad, adaptando guías para revisiones sistemáticas. Se planteó la pregunta de investigación utilizando la PICO: Población (proyectos de ingeniería civil), Intervención (regulación de recursos naturales), Comparación (prácticas no reguladas o convencionales) y Resultado (sostenibilidad del desarrollo). La pregunta de investigación centrales fue: ¿Cuáles son las estrategias regulatorias efectivas para la gestión de recursos naturales en proyectos de ingeniería civil que promuevan el desarrollo sostenible?

Se realizaron búsquedas exploratorias en bases de datos como Scopus, Web of Science y Google Scholar para validar la idea y evitar repeticiones. Los criterios de inclusión tomaron en consideración estudios que habían sido publicados entre 2021 y 2025, centrados en la regulación de recursos naturales, como arena, sedimentos y residuos en el ámbito de la ingeniería civil, dando la importancia correspondiente a aspectos como los efectos ambientales y métodos sostenibles. Se descartaron los estudios irrelevantes, duplicados o que no tenían el texto completo accesible y también, por supuesto, se excluyeron las revisiones narrativas que no aportaban información original o estudios en idiomas diferentes a los del inglés o español.

La estrategia de búsqueda se realizó a partir de palabras clave como "regulación de recursos naturales", "ingeniería civil sostenible", "minería de arena", "economía circular en construcción", "dragado ambiental" y "evaluación de impacto ambiental" y se llevaron a cabo las adaptaciones a cada base de datos y con integración de operadores booleanos para intentar maximizar la relevancia de los resultados. Inicialmente se recuperaron más de 100 artículos, de los cuales veintinueve de ellos fueron seleccionados tras la realización de un cribado de los títulos, resúmenes y textos completos por parte de dos revisores independientes que discutieron las discrepancias.

Se llevó a cabo una búsqueda manual en las referencias de los artículos que fueron seleccionados para incluir artículos adicionales. La extracción de datos se realizó a partir de una hoja estructurada en la que fueron capturados autores, año, metodología, principales hallazgos y conclusiones al respecto de la regulación sostenible. La calidad de los estudios revisados fue analizada utilizando herramientas de evaluación como el instrumento de la National Institutes of Health para estudios observacionales y asegurando que solo se incluyeron aquellos que presentaban un bajo riesgo de sesgo.

El análisis fue cualitativo, que consistió en sintetizar temas comunes como la gobernanza de arena o las evaluaciones de impacto, sobre las que se pondrá más énfasis en lo que hace relación con la ingeniería civil. No se llevaron a cabo meta-análisis cuantitativos debido a la heterogeneidad de los estudios revisados. Esta metodología garantiza una revisión exhaustiva y libre de sesgos, a la vez que es coherente con los estándares internacionales para las revisiones sistemáticas.

03 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

GOBERNANZA DE LA EXPLOTACIÓN DE ARENA

Los resultados reflejan que la gobernanza de la explotación de arena representa un reto prominente a la hora de identificar intervenciones en la regulación de recursos naturales aplicadas a proyectos de infraestructura en ingeniería civil. Múltiples investigaciones han evidenciado que la extracción no regulada suele beneficiarse de las tasas de oferta natural al ser mayor con en el proceso de erosión costera o con episodios de restablecimiento de ecosistemas a los asociados al hábitat fluvial (Yuen et al., 2024); además, en estatus como Ghana, la financiación y el apropiamiento a nivel local generan inseguridades alimentarias de personas que dependen de la agricultura (Essaw et al., 2023), y es que la explotación de la tierra al nivel de la extracción de la arena también conlleva un deterioro de fertilidad del terreno las zonas urbanas, tal como en el caso de Accra, que también generaron una disminución de las extensiones cultivadas o bien conflictos sociales (Hemmler et al., 2024).

Por último, cabe destacar la dimensión internacional existente en la cadena de suministro de arena y el hecho de que la falta de regulación reforzara prácticas no sostenibles. Las investigaciones evidencian que, en el delta del Mekong, los volúmenes ilegales de extracción propician la subsidencia del suelo y aumentan la vulnerabilidad ante las inundaciones (Yuen et al., 2024). En el caso de Malasia, la minería offshore requiere estrategias que incluyan la monitorización tecnológica que permita equilibrar las demandas de infraestructura con la protección marina (Ali et al., 2025). Estos resultados ponen de manifiesto la necesidad de enfoques colaborativos que incluyan a gobiernos, comunidades y las empresas residuales de la extracción.

El conocimiento comunitario aparece como factor importante, pues las encuestas indican bajos niveles de conocimiento relacionado con los efectos de la erosión ribereña (Tran et al., 2023). En contextos periurbanos, la relación entre seguridad de la arena y medios de vida pone de manifiesto la necesidad de políticas integradas para la atención de aspectos sociales y económicos (Asare et al., 2023); y, finalmente, se identifica que una buena gobernanza sostenible requiere de límites basados en evaluaciones científicas que promuevan la restauración de sitios minados en el marco de atenuar los efectos a largo plazo (Yasmin et al., 2024). Dicho de otra manera, estos resultados demuestran que una gobernanza deficiente mantiene los ciclos de degradación y, por tanto, es necesaria una reforma que priorice la equidad y la sostenibilidad de su extracción para la construcción civil.

ECONOMÍA CIRCULAR DE LOS RESIDUOS DE LA CONSTRUCCIÓN

La economía circular en la gestión de los residuos de la construcción y la demolición es, de acuerdo a la literatura revisada, una estrategia clave para la reducción del impacto de los recursos naturales en la ingeniería civil. Los estudios revisados muestran que el reciclaje de los agregados a la vez que sirve para minimizar las emisiones de carbono, sirve para conservar los depósitos naturales, si bien estos tienen un coste que restringe de forma importante la aplicación del reciclaje de los agregados

(Papamichael et al., 2023). En revisiones de los estudios de la literatura se constata que los marcos circulares permiten la transición de los marcos lineales a pliegos cerrados reutilizando los materiales para nuevas construcciones (Finamore & Oltean-Dumbrava, 2024).

Otro hallazgo relevante es el papel del trabajo institucional en la legitimación de prácticas circulares, observándose que en países como Suecia los intentos de integración de valores económico resultan ineficaces para cambiar inercias culturales tradicionales (Andersson & Buser, 2022), lo que implica que la regulación tiene que servir de aliciente para la innovación en gestión de residuos, por tanto, debemos considerar asociaciones entre el sector público y privado para escalar soluciones. Por otro lado, hay evidencias de que los principios circulares contribuyen a disminuir la cantidad de residuos enviados a vertederos, con la consecuencia de tener un menor impacto en la preservación de suelos y agua (Papamichael et al., 2023). Los contextos mundiales en los que tales enfoques se apliquen a normativas de obra civil deberían ayudar a mitigar la presión sobre recursos no renovables y fomentar economías locales a partir del reciclaje.

Y finalmente, los resultados del estudio sugieren que la evaluación del ciclo de vida es necesario para cuantificar los beneficios y que la economía circular debería ser entendida ya no sólo a modo conceptual, sino también de forma operativa en lo que hace referencia a proyectos de ingeniería.

EFFECTOS DEL DRAGADO Y RESTAURACIÓN DE ECOSISTEMAS

Desde la infraestructura medioambiental civil de dragado para mantenimiento genera impactos en el medioambiente que requieren una estricta regulación. En el contexto del dragado se ha observado que la turbidez del agua obtiene impactos negativos en la biodiversidad marina, se estableció un umbral mediante el monitoreo empirista necesario para mitigar el daño (De Padova et al., 2022). En los estuarios ya transformados, se demuestra que, a corto plazo, el comunitarismo bentónico es alterado, por lo que es necesario generar planes de mitigación (Donázar-Aramendía et al., 2024).

Por último, la interacción incorporada con factores que también provocan una gran presión, por ejemplo, el incremento del nivel del agua del mar o inundaciones en los humedales, y la disminución de la navegabilidad (Muñoz et al., 2022). Estos resultados resaltan la importancia de fomentar protocolos que incorporen información ambiental a las operaciones de dragado. La restauración de los ecosistemas acuáticos se presenta como método antagónico, en donde el marco regulador, como la Directiva Marco del Agua permite concurrencias para mejorar el hábitat (Ciscato & Harris, 2025). En el marco de los proyectos de construcción civil se realizan avisos previos para evitar un impacto irreparable. Por último, dicen los resultados, se debe enfatizar la naturaleza basada en enfoques de gestión del riesgo que incorporen dragado e integración de soluciones ecológicas con planificación urbana (Zhou et al., 2024).

LAS ADQUISICIONES PÚBLICAS ECOLÓGICAS

Las adquisiciones públicas ecológicas promueven la sostenibilidad en ingeniería civil al incluir criterios ambientales en la licitación. Estudios sistemáticos revelan que alrededor de noventa por ciento de los contratos incluyen indicadores tales como reducción en emisiones, que varían de acuerdo a la naturaleza de la infraestructura (Montalbán-Domingo et al., 2023). Esto promueve la selección de materiales reciclados y procesos eficientes. Otros hallazgos encuentran que se ha demostrado que las empresas destacadas incluso han tenido un impacto positivo en su desempeño

ambiental corporativo (Zheng & Wen, 2024). En lo que se refiere a la construcción de infraestructuras, estas prácticas regularán el uso de recursos, priorizando los que sean eco-sustentables.

Además, las revisiones mencionan barreras como la falta de estandarización, sugiriendo, por lo general, unas guías para la integración de la ecología en las adquisiciones (Ahmed et al., 2024). Esto promueve que los proyectos de obras civiles minimicen las huellas ambientales. Las políticas ecológicas en adquisiciones públicas refuerzan cadenas de suministro y contribuyen a metas de desarrollo sostenible.

EVALUACIONES DE IMPACTO AMBIENTAL

Las evaluaciones de impacto ambiental son herramientas reguladoras en el sector de la construcción, aunque están en busca de ser eficientes sin omitir protección. Algunas encuestas internacionales han puesto de manifiesto que algunas extensiones incluyen complejidades como cambio climático, dando peso al equilibrio de los costos (Fischer et al., 2023). Dentro de los límites de áreas protegidas, algunos principios eco-céntricos priorizan la evitación de impactos (Retief et al., 2025). Otro aspecto es que la mayor parte de las demoras no proviene precisamente de la evaluación, sino más bien de factores que son de postevaluación dentro de la gestión forestal y minera (Struthers et al., 2023; Collard et al., 2024). Por ello, esto sugiere reformas que tiendan a la agilidad.

Además, enfoques como Changeology han comenzado a pilotear sobre la base de pruebas en evaluaciones, mejorando su efectividad (Onyango & Gazzola, 2024). Integran consideraciones socio-ecológicas a los proyectos civiles. Por último, los resultados enfatizan propuestas para simplificaciones que puedan mantener su rigurosidad a fin de evitar sesgos en las decisiones regulatorias (Enríquez-de-Salamanca, 2021). En la discusión de estos resultados se articulan los temas, planteando que la regulación es holística para poder afrontar aspectos como, la problemática de la extracción ilícita o la complejidad procedimental cuya regulación debe integrar dichas temáticas, siguiendo a Da y Le Billon (2022); Enríquez-de-Salamanca (2021). También en ingeniería civil esto se traduce en incorporar soluciones naturales a riesgos relevantes como el riesgo de inundaciones o la regulación integrada de recursos hídricos (Zhou et al., 2024).

También la compensación de biodiversidad muestra deficiencias respecto a las formas actuales de abordarla, proponiendo cambios que benefician a las poblaciones y a la naturaleza, a través de políticas de ganancia neta en biodiversidad que remediarían brechas de gobernanza (Mancini et al., 2024; Rampling et al., 2024). Igualmente, se debate de qué forma la ausencia de consciencia en las condiciones en las que se encuentran las comunidades pertenecientes al delta del Mekong va conllevando a un proceso de erosión de dichas comunidades y cómo hacen de la educación y de la participación del propio nivel local un recurso necesario para la regulación de estas comunidades (Tran et al., 2023). Dentro de los contextos africanos, la interconexión de la minería de arena y de la seguridad alimentaria ha puesto de manifiesto la necesidad apremiante de construir puentes legislativos entre las políticas agrarias y extractivas para contribuir a que no se deterioren los medios de subsistencia (Asare et al., 2023; Anokye et al., 2023).

La economía circular genera beneficios en términos de reducción de residuos al mismo tiempo que también crea oportunidades económicas, aunque se necesita de incentivos regulatorios para hacer frente a las resistencias institucionales (Finamore & Oltean-Dumbrava, 2024; Andersson & Buser, 2022). Con respecto al dragado, la fusión de la vigilancia en tiempo real y la restauración normativa, como en la directiva europea, ofrece modelos transferibles a las regiones en desarrollo a fin de mitigar la turbidez y proteger a los ecosistemas (De Padova et al., 2022; Ciscato & Harris, 2025). Las

adquisiciones ecológicas, a través de sus efectos en las cadenas de valor, generan innovaciones sobre materiales sostenibles, pero requieren estándares de medición que permita determinar adecuadamente los efectos reales (Ahmed et al., 2024; Zheng & Wen, 2024).

Las evaluaciones de impactos deben volver al enfoque adaptativo que integre auditorías económicas y principios de mejores prácticas para que la regulación no cause demoras en los proyectos sin justificaciones (Collard et al., 2024; Retief et al., 2025). Para resumir, esta discusión ampliada pone de relieve la relación entre los temas tratados y aboga por regulaciones multi-categorías que fomenten la resiliencia, debido a los proyectos de ingeniería civil sostenible. Añadido por la autora antes de empezar la tabla 1 Descripción del contenido de la tabla: Tabla 1 recoge las contribuciones de los trabajos más destacados en gobernanza de la minería de arena, señalando impactos ambientales y sociales, así como regulaciones. También, se incluyen referencias para dar contexto a los aportes hacia la sostenibilidad en ingeniería civil.

Tabla 1. Resumen de estudios sobre gobernanza de minería de arena

Estudio	Impactos principales	Estrategias regulatorias	Referencia
Essaw et al.	Falta de coordinación institucional; deterioro de medios de vida	Alianzas entre agencias para refuerzo y compensación	(Essaw et al., 2023)
Yuen et al.	Extracción ilegal excede reservas; erosión costera	Monitoreo científico y límites basados en reposición natural	(Yuen et al., 2024)
Ali et al.	Degradación marina; conflictos sociales	Fortalecimiento institucional y tecnología flexible	(Ali et al., 2025)
Hemmler et al.	Reducción de fertilidad del suelo; abandono de campos	Reclamación obligatoria y compensación	(Hemmler et al., 2024)
Tran et al.	Baja conciencia comunitaria de erosión	Educación y participación local en monitoreo	(Tran et al., 2023)
Tran et al.	Baja conciencia comunitaria de erosión	Educación y participación local en monitoreo	(Tran et al., 2023)

Desde luego, en la tabla 1 se hace alusión a los recursos naturales relacionados a la minería de arena, destacando estrategias donde hay un esfuerzo en cuanto a la colaboración y en el seguimiento con tal de minimizar el daño ambiental o bien se reconoce estrategias que ajustan la extracción en los proyectos civiles y en las que se da un énfasis hacia la restauración y la igualdad social. Previo a la tabla 2, se hace referencia al siguiente texto: Esta tabla recoge investigaciones sobre las evaluaciones de impacto ambiental, centrándose en atributos de áreas naturales protegidas y en las simplificaciones e instrumentalizados para la eficiencia.

Tabla 2. Resumen de estudios sobre evaluaciones de impacto ambiental

Estudio	Características únicas	Implicaciones para regulación	Referencia
Retief et al.	Enfoque eco-céntrico; evitación como mitigación primaria	Principios para áreas protegidas: evitación estricta	(Retief et al., 2025)
Fischer et al.	Simplificaciones reducen costos; extensiones agregan complejidad	Equilibrio entre eficiencia y protección integral	(Fischer et al., 2023)
Onyango & Gazzola	Falta de epistemología científica en cambios	Uso de Changeology para reformas evidencia-basadas	(Onyango & Gazzola, 2024)
Struthers et al.	EIA no causa demoras principales en gestión forestal	Enfoque en barreras post-EIA para implementación	(Struthers et al., 2023)
Collard et al.	Demoras económicas superan regulatorias en minería	Auditorías obligatorias de beneficios económicos	(Collard et al., 2024)

La tabla 2 explica cómo las evaluaciones regulan impactos en recursos, con énfasis en principios adaptados para sostenibilidad. Estas herramientas aseguran que proyectos civiles minimicen daños, integrando evidencia para decisiones informadas.

04CONCLUSIONES

Esta revisión sistemática concluye que la regulación de recursos naturales en proyectos de ingeniería civil es indispensable para el desarrollo sostenible, atenuando impactos como la erosión, la pérdida de biodiversidad y el despilfarro. Estrategias como la gobernanza colaborativa en minería de arena, una economía circular para residuos y adquisiciones ecológicas fortalecen la sostenibilidad, evitan demoras a través de evaluaciones de impacto equilibradas y no comprometen la protección. Se recomienda marcos integrados que incorporen interesados para refuerzo efectivo, de prácticas que equilibren el crecimiento económico con la conservación ambiental.

Dentro de regiones vulnerables como son los deltas o aquellas periurbanas, la restauración eco sistémica se debe priorizar para mitigar riesgos climáticos y garantizar que infraestructuras civiles permanezcan resilientes, hasta que la circularidad, además de conservar recursos, también sea la oportunidad para generar empleo verde y contribuir a la equidad social. Por otra parte, las conclusiones enfatizan la necesidad de reformas en evaluaciones de impacto, en simplificación de procesos que no sacrifiquen la rigurosidad, y en fomento de adquisiciones que premien innovaciones sostenibles. Esto es colaboración internacional para compartir mejores prácticas, adaptándolas a los contextos locales.

Y entonces se concluye que la regulación proactiva en ingeniería civil convierte los desafíos ambientales en oportunidades, alineándose a los objetivos mundiales y asegurando legados sostenibles para las próximas generaciones. Otras investigaciones futuras deberían ser sobre métricas cuantitativas con el fin de evaluar la efectividad regulatoria y así fortificar la evidencia que puede llevar a una política informada.

05 REFERENCIAS

- AHMED, M. Z.; O'DONOGHUE, C.; y MCGETRICK, P.** Green public procurement in construction: A systematic review. *Cleaner and Responsible Consumption*, 2024, 15, art. 100234. <https://doi.org/10.1016/j.clrc.2024.100234>
- ALI, P. F.; GAN, G. G. G.; y ASMAWI, A.** Strategies for Achieving Sustainable Management of Offshore Sand Mining in Malaysia. *Sustainability*, 2025, 17(4), 1679. <https://doi.org/10.3390/su17041679>
- ANDERSSON, R.; y BUSER, M.** From waste to resource management? Construction and demolition waste management through the lens of institutional work. *Construction Management and Economics*, 2022, 40(6), p. 477-496. <https://doi.org/10.1080/01446193.2022.2081989>
- ANOKYE, N. A.; MENSAH, J. V.; POTAKEY, H. M. D.; BOATENG, J. S.; ESSAW, D. W.; y TENKORANG, E. Y.** Sand mining and land-based livelihood security in two selected districts in the Central Region of Ghana. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 2023, 34(1), p. 21-36. <https://doi.org/10.1108/MEQ-11-2021-0263>
- ASARE, K. Y.; DAWSON, K.; y HEMMLER, K. S.** A sand-security nexus: Insights from peri-urban Accra, Ghana. *The Extractive Industries and Society*, 2023, 15, art. 101322. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2023.101322>
- ASARE, K. Y.; HEMMLER, K. S.; BUERKERT, A.; y MENSAH, J. V.** Scope and governance of terrestrial sand mining around Accra, Ghana. *Social Sciences & Humanities Open*, 2024, 9(1), art. 100894. <https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2024.100894>
- CISCATO, E.; y HARRIS, M. E.** The Nature Restoration Regulation and the Water Framework Directive: Enhancing restoration of freshwater ecosystems, or muddying the waters? *Restoration Ecology*, 2025, publicación anticipada. <https://doi.org/10.1111/rec.70233>
- COLLARD, R.; DEMPSEY, J.; AL BOUCHI, Y.; y BAWAAN, N.** Does regulation delay mines? A timeline and economic benefit audit of British Columbia mines. *FACETS*, 2024, 9, p. 1-12. <https://doi.org/10.1139/facets-2024-0083>
- DA, S.; y LE BILLON, P.** Sand mining: Stopping the grind of unregulated supply chains. *The Extractive Industries and Society*, 2022, 10, art. 101070. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2022.101070>
- DE PADOVA, D.; ATTOLICO, A.; UNGARO, N.; y MOSSA, M.** Environmental Management of Dredging Activities: Monitoring System and an Empirical Approach to Estimating Values of Background and Limit Turbidity. *Environmental Sciences Proceedings*, 2022, 21(1), art. 12. <https://doi.org/10.3390/environsciproc2022021012>
- DONÁZAR-ARAMENDÍA, I.; MEGINA, C.; MIRÓ, J. M.; FLORIDO, M.; REYES-MARTÍNEZ, M. J.; OLAYA-PONZONE, L.; y GARCÍA-GÓMEZ, J. C.** Environmental effects of maintenance dredging

works in a highly modified estuary: A short-term approach. *Ocean & Coastal Management*, 2024, 258, art. 107394. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2024.107394>

ENRÍQUEZ-DE-SALAMANCA, Á. Simplified environmental impact assessment processes: Review and implementation proposals. *Environmental Impact Assessment Review*, 2021, 90, art. 106640. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2021.106640>

ESSAW, D. W.; MENSAH, J. V.; ANOKYE, N. A.; TENKORANG, E. Y.; BOATENG, J. S.; y POTAKEY, H. M. D. Governance for Sustainable Sand Mining in Two Selected Local Government Areas in the Central Region of Ghana. *Society & Natural Resources*, 2023, 38(4), p. 394-413. <https://doi.org/10.1080/08941920.2023.2169799>

FINAMORE, M.; y OLTEAN-DUMBRAVA, C. Circular economy in construction—findings from a literature review. *Heliyon*, 2024, 10(15), e34647. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e34647>

FISCHER, T. B.; FONSECA, A.; GEIßLER, G.; JHA-THAKUR, U.; RETIEF, F.; ALBERTS, R.; y JIRICKA-PÜRRER, A. Simplification of environmental and other impact assessments – results from an international online survey. *Impact Assessment and Project Appraisal*, 2023, 41(3), p. 181-189. <https://doi.org/10.1080/14615517.2023.2198839>

HEMMLER, K. S.; ASARE, K. Y.; TENKORANG, E. Y.; et al. Sand mining deteriorates soil fertility and farming livelihoods around Accra, Ghana. *Scientific Reports*, 2024, 14, 17063. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-66656-z>

MANCINI, M. C.; COLLINS, R. M.; ADDICOTT, E. T.; BALMFORD, B. J.; BINNER, A.; BULL, J. W.; DAY, B. H.; EIGENBROD, F.; ZU ERMGASSEN, S. O. S. E.; FACCIOLI, M.; FEZZI, C.; GROOM, B.; MILNER-GULLAND, E. J.; OWEN, N.; TINGLEY, D.; WRIGHT, E.; y BATEMAN, I. J. Biodiversity offsets perform poorly for both people and nature, but better approaches are available. *One Earth*, 2024, 7(12), p. 2165-2174. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2024.10.002>

MONTALBÁN-DOMINGO, L.; TORRES-MACHI, C.; SANZ-BENLLOCH, A.; PELLICER, E.; y MOLENAAR, K. R. Green public procurement in civil infrastructure construction: Current performance and main project characteristics. *Journal of Construction Engineering and Management*, 2023, 149(9), art. 04023089. <https://doi.org/10.1061/JCEMD4.COENG-13502>

MUÑOZ, D. F.; MOFTAKHARI, H.; KUMAR, M.; y MORADKHANI, H. Compound effects of flood drivers, sea level rise, and dredging protocols on vessel navigability and wetland inundation dynamics. *Frontiers in Marine Science*, 2022, 9, art. 906376. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.906376>

ONYANGO, V.; y GAZZOLA, P. Change-making in Environmental Impact Assessment (EIA): piloting changeology approach using England as a case study. *Impact Assessment and Project Appraisal*, 2024, 42(3), p. 251-266. <https://doi.org/10.1080/14615517.2024.2345492>

PAPAMICHAEL, I.; VOUKKALI, I.; LOIZIA, P.; y ZORPAS, A. A. Construction and demolition waste framework of circular economy: A mini review. *Waste Management & Research*, 2023, 41(12), p. 1728-1740. <https://doi.org/10.1177/0734242X231190804>

- RAMPLING, E. E.; ZU ERMGASSEN, S. O. S. E.; HAWKINS, I.; y BULL, J. W.** Achieving biodiversity net gain by addressing governance gaps underpinning ecological compensation policies. *Conservation Biology*, 2024, 38(2), e14198. <https://doi.org/10.1111/cobi.14198>
- RETIEF, F. P.; ALBERTS, R. C.; CILLIERS, D.; ROOS, C.; MOOLMAN, J.; y BOND, A.** Unique features of environmental impact assessment (EIA) in protected areas (PAs) – towards best practice principles. *Impact Assessment and Project Appraisal*, 2025, 43(3), p. 171-178. <https://doi.org/10.1080/14615517.2025.2470936>
- STRUTHERS, C. L.; MURENBEELD, K. J.; y WILLIAMSON, M. A.** Environmental impact assessments not the main barrier to timely forest management in the United States. *Nature Sustainability*, 2023, 6, p. 1542-1546. <https://doi.org/10.1038/s41893-023-01218-1>
- TRAN, D. D.; THIEN, N. D.; YUEN, K. W.; et al.** Uncovering the lack of awareness of sand mining impacts on riverbank erosion among Mekong Delta residents: insights from a comprehensive survey. *Scientific Reports*, 2023, 13, 15937. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-43114-w>
- YASMIN, T.; CLARK, J.; SAMBROOK SMITH, G.; DAHAM, A.; NICHOLAS, A.; y GASPAROTTO, A.** Towards sustainable governance of freshwater sand – A resource regime approach. *Earth System Governance*, 2024, 22, art. 100228. <https://doi.org/10.1016/j.esg.2024.100228>
- YUEN, K. W.; PARK, E.; TRAN, D. D.; et al.** Extent of illegal sand mining in the Mekong Delta. *Communications Earth & Environment*, 2024, 5, art. 31. <https://doi.org/10.1038/s43247-023-01161-1>
- ZHENG, S.; y WEN, J.** Green public procurement and corporate environmental performance: An empirical analysis based on data from green procurement contracts. *International Review of Economics & Finance*, 2024, 96, art. 103578. <https://doi.org/10.1016/j.iref.2024.103578>
- ZHOU, K.; KONG, F.; YIN, H.; et al.** Urban flood risk management needs nature-based solutions: a coupled social-ecological system perspective. *npj Urban Sustainability*, 2024, 4, art. 25. <https://doi.org/10.1038/s42949-024-00162-z>

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses

ORCID del autor

Gabriel Jesús Montúfar Chiriboga <https://orcid.org/0000-0003-3392-3728>