

## PONIENDO EN CLARO

### La arena como recurso: aplicaciones en la industria de la construcción e impactos ambientales derivados

June Fernández de Monje<sup>1</sup>, Elena Colmenero Hidalgo<sup>2</sup>, Juncal Altagracia Cruz Martínez<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> Graduada en Ciencias Ambientales (Curso 2019-2024) [jfernu01@estudiantes.unileon.es](mailto:jfernu01@estudiantes.unileon.es)

<sup>2</sup> Tutora del Departamento de Geografía y Geología [e.colmenero@unileon.es](mailto:e.colmenero@unileon.es)

<sup>3</sup> Cotutora del Departamento de Geografía y Geología [jcrum@unileon.es](mailto:jcrum@unileon.es)  
Facultad de C.C. Biológicas y Ambientales, Universidad de León. Campus de Vegazana, 24071, León.

#### Resumen

A partir de mediados del siglo XX, motivado por el aumento exponencial de la población urbana mundial, el consumo de arena y grava para construcción ha experimentado un crecimiento más acelerado y a mayor escala que cualquier otro grupo de recursos. La arena constituye uno de los recursos básicos de la sociedad actual, al ser el principal componente del hormigón con el que se construyen infraestructuras y proyectos de gran envergadura. Sin embargo, es un recurso cada vez más limitado. La extracción descontrolada a nivel mundial pone en evidencia los efectos significativos de su explotación sobre el medio ambiente y la sociedad. Mediante este trabajo se realiza un análisis integral de dicha problemática a través de una revisión de fuentes bibliográficas y se plantean cuatro líneas principales de acciones para paliar el daño ambiental derivado de la explotación de este recurso. La gravedad de los impactos estudiados subraya la urgente necesidad de actuación de los poderes políticos frente a la crisis de escasez de la arena, así como la necesidad de establecer políticas restrictivas para regular su extracción.

#### Palabras clave

“crisis de la arena”, dragado, extracción, hormigón y ganancia de tierras

#### Introducción y objetivo

La arena, un recurso mineral aparentemente inagotable, desempeña un papel crucial en las industrias de la construcción y tecnológica. La extracción de áridos de construcción (arena y grava), impulsada por el aumento de la población mundial y la necesidad de mayor cantidad de terrenos urbanizables, ha crecido exponencialmente en las últimas décadas y en mayor escala que cualquier otro grupo de recursos, lo que los convierte en el mayor recurso mineral consumido

actualmente a nivel mundial (Bisht, 2021). El Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP, *United Nations Environment Programme*) (2022) señala que la arena es, después del agua, el recurso natural más extraído y comercializado por volumen. Peduzzi (2014) estima que anualmente se extraen  $5 \cdot 10^{10}$  toneladas de agregados (arena y grava) a nivel mundial.

Son múltiples los usos que tiene la arena en distintos sectores, destacando su función en la fabricación de hormigón y vidrio, ambos imprescindibles para el desarrollo urbano y la construcción de infraestructuras. Peduzzi (2014) sostiene que la demanda de hormigón por parte de China ha experimentado un aumento del 437,5 % en 20 años, mientras que su uso en el resto del mundo ha aumentado un 59,8 %. Así mismo, el vidrio está presente en la vida diaria de todos, desempeñando un papel fundamental en diversos aspectos cotidianos.

Las elevadas cantidades de arena extraída, los incontables puntos de extracción existentes y el comercio global de este recurso para su uso en la realización de megaproyectos de construcción, conllevan múltiples impactos ambientales significativos y alejan a la industria de la extracción de arena de la sostenibilidad.

Así lo expuesto, el **objetivo principal** de este trabajo consiste en realizar un análisis integral de la problemática medioambiental vinculada a la extracción de arena para su uso en la industria de la construcción y, en concreto, en la edificación de megaproyectos, a través de una revisión bibliográfica exhaustiva.

## Metodología

El análisis bibliográfico llevado a cabo en este trabajo se ha fundamentado en la revisión de estudios publicados con temática relacionada con la extracción de arena y su relevancia a escala mundial, junto con el análisis de las implicaciones de esta actividad en el entorno ambiental. Para ello, se ha llevado a cabo una recopilación exhaustiva de estudios cuantitativos y cualitativos en español y en inglés referentes al tema mediante la búsqueda en línea a través de bases de datos científicas y el empleo de diversas palabras clave.

Las bases de datos y plataformas de publicaciones científicas utilizadas han sido “Scopus”, “Scencedirect” y “Researchgate”, de uso común en Ciencias Experimentales. También se han realizado búsquedas en revistas científicas específicas como “Nature Sustainability” o “Scientific Reports”. También se ha extraído información del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico y de organizaciones como International Association of Dredging Companies (Asociación Internacional de Empresas de Dragado), entre otros.

Las referencias reunidas se han agrupado de la siguiente manera: artículos en revistas científicas, libros especializados e informes de organizaciones internacionales. Todas ellas han permitido a su vez, a través de citas y enlaces web, ampliar la información y trabajar con una extensa literatura científica.

## **Arena como recurso: aplicación y extracción**

### ¿Qué es la arena?

En **Geología** la arena viene definida por ser el conjunto de fragmentos de rocas y minerales disgregados con un tamaño comprendido entre 0,0625 y 2 milímetros. Así mismo, atendiendo a la Clasificación granulométrica de materiales sedimentarios de Wentworth (1922) es posible clasificar la arena en cinco tipos: muy gruesa, gruesa, media, fina y muy fina. Una partícula que se encuentra dentro de este rango se denomina grano de arena.

La arena se puede formar a partir de varios procesos: erosión hídrica o glacial, erosión eólica o ciclos de congelación-descongelación, entre otros. Los sedimentos sólidos que se forman tras dichos procesos son transportados por el agua, el viento o el hielo mientras se continúan fragmentando. La arena puede depositarse en numerosos entornos, como en lechos de ríos, lagos, playas, lechos marinos y desiertos. Se estima que el proceso de formación de los granos de arena dura aproximadamente 200 millones de años, lo que convierte la arena en un recurso no renovable en la escala temporal humana.

En contraposición a lo mencionado hasta ahora, en el ámbito de la **Minería** la arena es un tipo de árido empleado en la construcción. Los áridos resultan necesarios en la fabricación de hormigón y de cemento, en obras de construcción de infraestructuras y edificaciones de cualquier país, entre otros.

### La arena como recurso

En el siglo XXI la arena se ha convertido en un recurso imprescindible para la sociedad y el desarrollo económico de la misma. La arena es esencial para la construcción y equipamiento de edificaciones y obras civiles, ya que se emplea tanto en la fabricación de hormigón, de cemento necesario para construir edificios y pavimentar carreteras, como en la producción de vidrio, televisores, paneles solares o espejos que los revistan. Debido a la creciente digitalización de la sociedad, su uso como materia prima en la fabricación de chips de ordenadores, teléfonos móviles y otros aparatos electrónicos es vital.

Atendiendo a las distintas aplicaciones de la arena, Beiser (2019) la separa en dos grupos: la arena industrial y la arena marina.

La arena industrial (riberas, playas, lagos y arroyos), engloba a todas aquellas arenas empleadas en la fabricación de vidrio y la elaboración de hormigón para el sector de construcción.

La arena marina (playas y zonas costeras) se emplea para la construcción de islas artificiales, recuperación de tierras o alimentación de playas, entre otros.

Debido a que la arena se considera un recurso no renovable, surge la siguiente duda: ¿es posible emplear la arena del desierto en construcción? A día de hoy la respuesta es negativa. La mayoría de los granos encontrados en los de-

siertos son demasiado redondeados para ser utilizados en la construcción, ya que su forma redonda no proporciona la misma adherencia que los granos angulares (Beiser, 2019; Bisht, 2021).

#### Utilización en construcción

El auge de la urbanización del territorio, motivado por el rápido aumento de la población mundial y el éxodo rural de las últimas décadas, va de la mano con el incremento de la necesidad de arena en el sector de la construcción. Cuantos más edificios y carreteras se precisan, más hormigón es necesario. El hormigón se obtiene mediante la mezcla de agregados (gravas y arena) con cemento y agua. De acuerdo con Beiser (2019), en el siglo XXI China se ha convertido en el principal consumidor de hormigón a nivel mundial y en el mayor consumidor de arena en la historia de la humanidad. En China hay más 113 ciudades que superan el millón de habitantes, y en todas ellas son necesarios edificios, puertos, carreteras, aeropuertos etc., construido todo ello con hormigón.

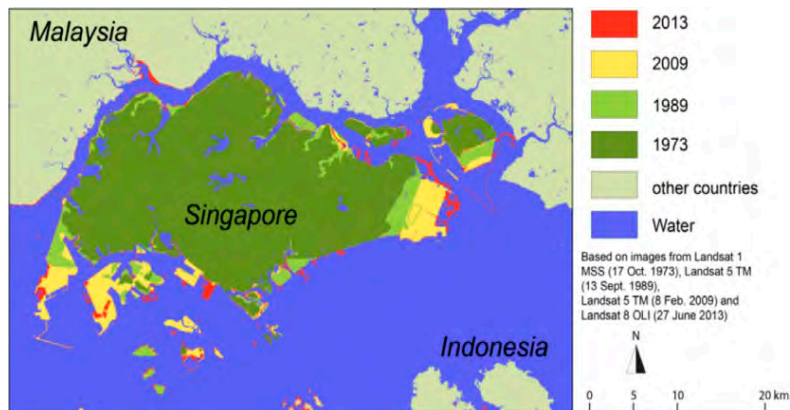
#### Fabricación de vidrio

La fabricación de vidrio es una de las aplicaciones de la arena que más ha influenciado la configuración de la sociedad moderna. En la actualidad el vidrio forma parte de cada aspecto de la vida cotidiana: las ventanas que aíslan los hogares, forma parte de las pantallas de los teléfonos móviles, relojes y televisores, etc. Es importante destacar que el descubrimiento del vidrio ha permitido grandes avances para la humanidad y ha jugado un papel importante en la revolución científica, ya que ha permitido el desarrollo del microscopio y el telescopio.

#### Ganancia de terreno al mar (land reclamation)

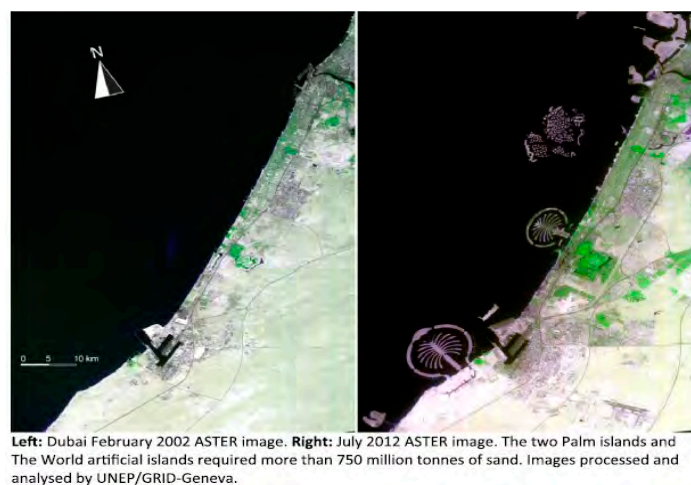
Numerosas ciudades en todo el planeta están viendo incrementada su población a una velocidad vertiginosa, haciendo necesaria una expansión urbana sin precedentes. Como resultado, ciudades costeras como Singapur o Dubái han optado por expandirse ganando territorio al mar (*land reclamation*). Todo ello requiere de millones de toneladas de arena, que en su mayoría provienen del dragado de fondos marinos, siendo también útil la arena de lechos de río o lagos.

Actualmente, la ciudad que más arena importa para su expansión costera es Singapur (Peduzzi, 2014). Desde su independencia en 1965 hasta 2017, la ciudad aumentó su superficie en 129,5·10<sup>5</sup> m<sup>2</sup> (Figura 1). La gran remodelación de la costa de Singapur ha sido posible gracias a la importación de arena desde diferentes países, en los que ha llegado a agotar reservas de arena en playas y lechos de ríos (Beiser, 2019).



**Figura 1.** Mapa de Singapur realizado mediante análisis de teledetección por GRID-Ginebra (ONU), en el que se muestran los terrenos ganados al mar entre 1973 y 2013: Fuente: Peduzzi (2014).

En Dubái, la ciudad con más habitantes de los Emiratos Árabes Unidos, se han llevado a cabo numerosos proyectos de ganancia de tierras, entre los que se encuentran las Islas Palmera o las Islas del Mundo, entre muchos otros (**Figura 2**). Por ejemplo, el proyecto denominado Islas Palmera o “Palm Islands” consiste en la construcción de tres islas artificiales: Palm Jumeirah, Palm Deira y Palm Jebel Ali. Beiser (2019) afirma que la construcción de la isla supuso el dragado de  $12 \cdot 10^7$  m<sup>3</sup> de arena marina y la excavación de más de 200.000 perforaciones en el Golfo Pérsico. Así mismo, en 2005 comenzó a construirse el proyecto “The World” cerca de la costa de Dubái, que representa los continentes y países del planeta en forma de islas artificiales, construidas con arena dragada del Golfo Pérsico.



**Left:** Dubai February 2002 ASTER image. **Right:** July 2012 ASTER image. The two Palm islands and The World artificial islands required more than 750 million tonnes of sand. Images processed and analysed by UNEP/GRID-Geneva.

**Figura 2.** Izquierda: Dubái en febrero de 2002. Derecha: Dubái en julio de 2012, tras la construcción de las dos Palm Islands y la isla artificial “The World”. Imágenes satelitales ASTER. Fuente: Peduzzi (2014).

En España, los proyectos de “*land reclamation*” están más enfocados a la defensa contra la erosión costera, y a la creación de terrenos artificiales sobre los que ampliar puertos y aeropuertos. Ejemplo de ello, es el conocido “Plan Delta”, diseñado en 1994 para la construcción y ampliación de nuevas infraestructuras en la ciudad de Barcelona. Según Sanz Moliner (2002), el plan implica la reorganización de las infraestructuras de transporte y comercio de Barcelona, requiriendo la desviación del río Llobregat y la ganancia de terreno al mar.

### Alimentación de playas

Tanto para la protección costera como para frenar su retroceso, en muchas playas se ha impulsado la estrategia conocida como alimentación de playas. *Climate ADAPT* (2023) define esta práctica como la distribución artificial de arena en la costa con el objetivo de subsanar la erosión de las playas y de mejorar su resistencia frente a las mareas. El proceso implica el dragado de arena marina o terrestre para alimentar la playa que está perdiendo terreno debido a la erosión (*Climate ADAPT*, 2023). A día de hoy, miles de playas alrededor del mundo son alimentadas con arena importada de otros lugares.

### Extracción de la arena

En función de su uso final existen múltiples fuentes de las que es posible obtener arena. La arena de mar, tras un tratamiento de lavado de la sal, puede ser empleada en la edificación de infraestructuras y carreteras, además de ser importante en la recuperación de tierras y alimentación de playas (Beiser, 2019).

### “Puntos calientes” de extracción de arena

Un ejemplo de la extracción de arena en lechos de ríos o lagos es la llevada a cabo en el río Yangtze, en el sudeste asiático. En China preocupa la extracción de arena y sus efectos sobre los ecosistemas. El río Yangtze, el principal río del país, vital para su economía y desarrollo, fue objeto de extracción de arena llevada a Shanghai (de Leeuw *et al.*, 2010), donde se necesitaban millones de toneladas para la construcción de edificios y carreteras. En el año 2000, debido a los efectos significativos sobre el medio ambiente, se prohibió la extracción de arena de este río, lo que supuso la búsqueda de nuevos puntos de extracción.

### Legislación nacional e internacional

La descontrolada y creciente extracción de arena se ve favorecida por la escasa gobernanza de las naciones sobre esta actividad y la falta de legislación que regule esta práctica.

En cuanto a la legislación nacional, la Ley 22/1973 de Minas, es la encargada en España de establecer unas normas sobre la regulación de recursos minerales en el país. De acuerdo con esta ley, todos los yacimientos naturales y otros recursos geológicos presentes en el territorio nacional, mar territorial y platafor-

ma continental son de propiedad pública. Igualmente, la Ley 22/1988 de Costas establece en su artículo 63 que, para conceder las autorizaciones de extracciones de áridos y dragados, se requiere de la evaluación de sus efectos en el dominio público marítimo-terrestre, tanto en el área de extracción o dragado como en el lugar de descarga.

### Comercio de arena

La industria del dragado es una industria con ganancias económicas muy elevadas, y a su vez, básica para el desarrollo económico de la sociedad actual. Todo ello ha impulsado las exportaciones e importaciones de arena en todo el mundo. De acuerdo con los datos del Observatorio de Complejidad Económica (OEC), entre los años 2020 y 2021 las exportaciones de arena aumentaron un 19,7 %, siendo Estados Unidos el mayor exportador de la misma (OEC, s. f.).

### Principales impactos derivados de la extracción de arena

La Ley 21/2013 de evaluación ambiental, define “impacto o efecto significativo” como la alteración de carácter permanente o de larga duración de uno o varios factores. Entre los factores que se pueden ver alterados se encuentran: la salud humana, la flora, la fauna, el suelo, el subsuelo, el aire, el agua, el clima y los bienes materiales, entre otros.

## **Impacto ambiental de la extracción en ríos**

### Impacto en el lecho del río

Ashraf *et al.* (2011) sostienen que el incremento de la erosión del lecho fluvial y de las orillas, producto de la extracción de arena en los ríos, aumenta la cantidad de los sólidos en suspensión tanto en el punto de excavación, como aguas abajo. Esto puede derivar en cambios en la morfología del río, en la dinámica de sedimentos y en la ecología del río.

### Impacto en el agua

La extracción de agregados puede resultar en impactos significativos en los sistemas hídricos, ya que dicho proceso tiene el potencial de modificar los patrones de flujo del agua subterránea y superficial, lo que a su vez puede tener consecuencias sustanciales en la calidad y cantidad de agua disponible (Bendixen *et al.*, 2021). De acuerdo con Ashraf *et al.* (2011), la actividad extractiva profundiza el nivel del lecho del río, lo que reduce la elevación del flujo de la corriente y el nivel freático de la llanura de inundación.

### Impacto en la biodiversidad

La actividad de dragado da lugar a perturbaciones físicas, como la generación de ruido, que puede interferir con las actividades de anidación y reproduc-

ción de las especies (Ashraf *et al.*, 2011). Según Beiser (2017), se ha observado que el sedimento removido y el ruido producido por las embarcaciones que extraen y transportan la arena perturban de manera significativa la visión y el sonar de la marsopa, lo que dificulta su búsqueda de peces y camarones para alimentarse.

### Impacto ambiental del dragado marino

De acuerdo con la Asociación Internacional de Empresas de Dragado (IADC) (2022), como consecuencia de las intervenciones físicas en los hábitats, del incremento de la turbidez del agua y de las modificaciones en la estructura de los ecosistemas, la resiliencia de los ecosistemas costeros se ve reducida.

### Impacto en el balance sedimentario costero

La erosión costera puede ser consecuencia del dragado marino de agregados en depósitos próximos a la costa (Kondolf, 1997; Peduzzi, 2014). La extracción de arena en las zonas costeras frecuentemente provoca déficit sedimentario y la consiguiente erosión y desestabilización de costas y ríos, lo que disminuye la capacidad de las comunidades para hacer frente al aumento del nivel del mar e inundaciones de la franja costera (Anthony *et al.*, 2015; Torres *et al.*, 2017).

### Impacto en la biodiversidad

La extracción de arena y agregados es una práctica que supone una importante amenaza para la biodiversidad de los fondos marinos en los que se lleva a cabo. Según la UNEP FI (2022), la remoción de material del lecho marino conlleva la pérdida directa de hábitats bentónicos. Los impactos pueden tener lugar directamente en las zonas de dragado o eliminación de sedimentos, o de forma indirecta a través de cambios en la calidad del agua (Erftemeijer y Lewis, 2006; Fraser *et al.*, 2017).

### Contaminación atmosférica

El dragado marino tiene una significativa huella de carbono. Esto se debe a las elevadas emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), óxidos de azufre (SOx) y óxidos de nitrógeno (NOx) generadas durante esta actividad. Igualmente, el procesamiento del cemento es una actividad que también genera grandes cantidades de gases como el CO<sub>2</sub> (Peduzzi, 2014).

### Impacto ambiental de la alimentación de playas y la ganancia de tierras al mar

Los procesos de alimentación de playas, construcción de islas artificiales y ganancia de terrenos al mar, producen efectos significativos como el aumento de la turbidez, la mezcla de sedimentos de diferentes características y las perturbaciones en el hábitat físico de numerosas especies, entre otros. Por un lado, en cuanto a las playas alimentadas, la maquinaria pesada encargada de repartir la arena comprime los sedimentos y produce cambios en el hábitat físico de nume-



rosas especies. Un caso representativo es el de las tortugas marinas, las cuales precisan de unas características particulares en su zona de anidación.

Por otro lado, los proyectos de ganancia de terreno al mar pueden tener impactos como la degradación de hábitats, la explotación de humedales costeros y la alteración de la morfología del lecho, entre otros. En Dubái, millones de toneladas de arena se arrojaron sobre tres millas cuadradas de arrecife de coral designado como área protegida, como consecuencia de los complejos proyectos de ganancia de terreno al mar (Krane, 2009; Beiser, 2019).

### **Discusión: arena y sostenibilidad**

A partir de la investigación expuesta en los apartados anteriores, las posibles soluciones a la problemática ambiental derivada de la extracción de arena se centran en 4 líneas principales: reducción del consumo y búsqueda de materiales alternativos, reducción de las consecuencias negativas de su extracción, mayor control de la industria y comercio extractivo, y búsqueda de fuentes de arena alternativas.

#### Reducción del consumo

Es urgente reducir el consumo innecesario y excesivo de arena e impulsar en su lugar materiales reciclados y alternativos. Mediante la reutilización, el reciclaje y la renovación de los productos y materiales se consigue cerrar sus ciclos, lo que a su vez conlleva una reducción en la extracción de arena y en los consecuentes impactos ambientales. En España, normas como el RD 105/2008, promueven el uso de áridos reciclados en proyectos de construcción públicos. Fijar impuestos para la extracción de arena, puede ser un incentivo para impulsar el uso de tecnologías y alternativas nuevas que sean económicamente viables.

#### Reducción de las consecuencias negativas de la extracción

Urge la instauración de normas restrictivas a nivel local y global, para lograr mejoras en la gestión de la arena y alcanzar la sostenibilidad en el sector de extracción de la misma. Además, es fundamental regular la extracción de arena tanto en aguas nacionales como internacionales, y que los líderes políticos agreguen la “crisis de la arena” a su agenda política. Entre otras medidas políticas, se propone la implementación de operaciones mineras basadas en enfoques científicos, seguidas de procesos de restauración ecológica, y el impulso e incentivos para motivar el uso de materiales alternativos, reciclados y sostenibles en sustitución de la arena.

#### Sistema global para monitorear y gestionar la industria

Los insuficientes sistemas de monitorización, políticas regulatorias y evaluaciones de impacto ambiental han propiciado una extracción indiscriminada de este recurso. Por ello, para lograr un consumo de arena sostenible, es fundamen-

tal establecer un sistema global con el objetivo final de supervisar y gestionar la industria de la extracción. Esto se puede lograr a través de la producción cartográfica, la monitorización y el intercambio de información acerca de los recursos de arena existentes, con el fin de mejorar la toma de decisiones de manera transparente y basada en la ciencia.

### Extracción de arena en Groenlandia

La decreciente disponibilidad local de arena en las regiones en desarrollo ha impulsado la búsqueda de nuevos depósitos. Tras un estudio de Bendixen *et al.* (2019), se valora la posibilidad de obtener arena de los extensos depósitos de grava, arena y limo hallados en la zona costera de Groenlandia. Anualmente el deshielo de los glaciares groenlandeses aporta grandes cantidades de sedimentos al océano, siendo las costas groenlandesas una reserva potencial para la extracción de agregados. El desarrollo de una industria extractiva en Groenlandia puede generar prosperidad, siempre y cuando se gestione con una estricta legislación que salvaguarde al medio ambiente y a la sociedad de posibles efectos significativos.

### **Conclusiones**

El resultado del estudio bibliográfico llevado a cabo para este trabajo ha permitido hacer un análisis exhaustivo de este recurso y las problemáticas asociadas a esta actividad. La extracción de arena y grava representa el segundo mayor volumen de materia prima utilizado en el planeta, superado únicamente por el agua. En las últimas décadas, el auge de los proyectos de urbanización unido a la revolución digital, han impulsado una extracción sin precedentes y desmesurada de arena en incontables ubicaciones en todo el planeta, lo que supone un impacto devastador en el medio ambiente, la economía y la población humana. Destaca la problemática ambiental surgida de la extracción de arena en cauces fluviales, que provoca un déficit sedimentario que resulta en el retroceso de la costa y la pérdida de ecosistemas costeros, aumentando así la vulnerabilidad de la costa frente a la subida del nivel del mar y a los efectos de fenómenos extremos. Por consiguiente, es imperativo establecer un sistema de monitorización transparente que proporcione datos cuantitativos sobre extracción, localización de zonas, importación, exportación y transporte de arena para facilitar la estimación del alcance de los impactos ambientales, sociales y económicos. Asimismo, es fundamental priorizar la reducción del consumo de arena, mediante la implementación de materiales reciclados y alternativos, y mediante políticas restrictivas que respalden la limitación de megaproyectos y el excesivo crecimiento urbano.

### **Bibliografía**

Anthony, E. J., Brunier, G., Besset, M., Goichot, M. *et al.* 2015. Linking rapid erosion of the Mekong River delta to human activities. *Scientific Reports*, 5(1):1-12. doi: 10.1038/srep14745.

- Ashraf, M. A., Maah, M. J., Yusoff, I. B., Wajid, A. *et al.* 2011. Sand mining effects, causes and concerns: A case study from Bestari Jaya, Selangor, Peninsular Malaysia” *Scientific Research and Essays*, 6(6):1216-1231.
- Asociación Internacional de Empresas de Dragado. 2022. *Dredging in figures 2022: An annual review of the global dredging market*. Disponible en: <https://www.iadc-dredging.com/publication/dredging-in-figures-2022/> (Accedido: 12 de enero de 2024).
- Beiser, V. 2017. *Sand mining: the global environmental crisis you’ve probably never heard of*, *The guardian*. Disponible en: <https://www.theguardian.com/cities/2017/feb/27/sand-mining-global-environmental-crisis-never-heard> (Accedido: 4 de enero de 2024).
- Beiser, V. 2019. *The world in a grain: The story of sand and how it transformed civilization*. Nueva York, Estados Unidos de América: Penguin Putnam.
- Bendixen, M., Iversen, L. L., Best, J. L., Franks, D. M. *et al.* 2021. Sand, gravel, and UN sustainable development goals: Conflicts, synergies, and pathways forward. *One Earth*, 4(8):1049-1186. doi: 10.1016/j.oneear.2021.07.008.
- Bendixen, M., Overeem, I., Rosing, M. I. y Bjork, A. A. 2019. Promises and perils of sand exploitation in Greenland. *Nature sustainability*, 2(2):98-104. doi: 10.1038/s41893-018-0218-6.
- Bisht, A. 2021. Conceptualizing sand extractivism: Deconstructing an emerging resource frontier. *The extractive industries and society*, 8(2):100904. doi: 10.1016/j.exis.2021.100904.
- Climate ADAPT. 2023. *Alimentación de playas y costas*. Disponible en: <https://climate-adapt.eea.europa.eu/es/metadata/adaptation-options/beach-and-shoreface-nourishment> (Accedido: 29 de noviembre de 2023).
- de Leeuw, J., Shankman, D., Wu, G. y de Boer, W. F. 2010. Strategic assessment of the magnitude and impacts of sand mining in Poyang Lake, China. *Regional Environmental Change*, 10(2):95-102. doi: 10.1007/s10113-009-0096-6.
- Erfteimeijer, P. L. A. y Lewis III, R. R. R. 2006. Environmental impacts of dredging on seagrasses: a review. *Marine Pollution Bulletin*, 52(12):1553-1572. doi: 10.1016/j.marpolbul.2006.09.006.
- España. 1973. Ley 22/1973, de 21 de julio, de Minas, *Boletín Oficial del Estado*, 24 de julio de 1973, (176).
- España. 1988. Ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas, *Boletín Oficial del Estado*, 29 de julio de 1988, (181).
- España. 2008. Real Decreto 105/2008, de 1 de febrero, por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición. *Boletín Oficial del Estado*, 13 de febrero de 2008, (38).
- España. 2013. Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental”. *Boletín Oficial del Estado*, 11 de diciembre de 2013, (296).

- Fauna & Flora International. 2020. *An Assessment of the Risks and Impacts of Seabed Mining on Marine Ecosystems*. Disponible en: [www.fauna-flora.org](http://www.fauna-flora.org) (Accedido: 13 de diciembre de 2023).
- Fraser, M. W., Short, J., Kendrick, G. A., Mclean, D. L. *et al.* 2017. Effects of dredging on critical ecological processes for marine invertebrates, seagrasses and macroalgae, and the potential for management with environmental windows using Western Australia as a case study. *Ecological Indicators*, 78(3):229-242. doi:10.1016/j.ecolind.2017.03.026
- Ghosh, D. 2012. *Sand Mafia truck Mows Down Cop*, *The Times of India*. Disponible en: [http://articles.timesofindia.indiatimes.com/2012-06-12/india/32194116\\_1\\_pcr-van-dumper-sand-mafia](http://articles.timesofindia.indiatimes.com/2012-06-12/india/32194116_1_pcr-van-dumper-sand-mafia) (Accedido: 11 de diciembre de 2023).
- Kondolf, G. M. 1997. Hungry water: effects of dams and gravel mining on river channels, *Environmental Management*, 21(4):551-553. doi: 10.1007/s002679900048.
- Krane, J. 2009. *City of Gold: Dubai and the Dream of Capitalism*. 1ª ed. St. Martin's Publishing Group.
- Observatorio de Complejidad Económica (sin fecha) *Arena, Oec.world*. Disponible en: <https://oec.world/es/profile/hs/sand?yearSelector1=2021&disaggregationValue=valueo> (Accedido: 22 de enero de 2024).
- Peduzzi, P. 2014. Sand, rarer than one thinks. *Environmental Development*, 11:208-218. doi: 10.1016/j.envdev.2014.04.001.
- Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente. 2022. *Sand and sustainability: 10 Strategic Recommendations to Avert a Crisis*, *UNEP - UN Environment Programme*. Disponible en: <https://www.unep.org/resources/report/sand-and-sustainability-10-strategic-recommendations-avert-crisis> (Accedido: 7 de diciembre de 2023).
- Sanz Moliner, N. 2002. *Impactos territoriales y socio-ambientales del Puerto de Barcelona y de las infraestructuras de acceso*. Tesina. Universitat Politècnica de Catalunya.
- Torres, A., Brandt, J., Lear, K. y Liu, J. 2017. A looming tragedy of the sand commons. *Science*, 357(6355):970-971. doi: 10.1126/science.aa00503.
- Wentworth, C. K. 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *The Journal of Geology*, 30:377-392.