

FRONTERAS 2017

Nuevos temas de interés ambiental



© 2017 Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
ISBN: 978-92-807-3683-0
Núm. de trabajo: DEW/2148/NA

Descargo de responsabilidad

La presente publicación puede reproducirse íntegra o parcialmente y en cualquier formato con fines educativos o sin ánimo de lucro sin el permiso específico del titular de los derechos de autor, siempre y cuando se cite la fuente. El PNUMA agradecería recibir una copia de cualquier publicación que emplee este documento como fuente.

No se podrá utilizar la presente publicación para la reventa o con cualquier otro fin comercial sin la obtención previa de un permiso por escrito del PNUMA. Las solicitudes de autorización, acompañadas de una declaración del propósito y la extensión de la reproducción, deben dirigirse a: Director de la División de Comunicaciones de ONU Medio Ambiente, PO Box 30552, Nairobi, 00100, Kenya.

Las denominaciones empleadas en esta publicación y la forma en que aparecen presentados los datos que contiene no suponen juicio alguno del PNUMA sobre la condición jurídica de ninguno de los países, territorios o ciudades mencionados o de sus autoridades, ni respecto de la delimitación de sus fronteras. Para obtener indicaciones generales sobre el uso de los mapas contenidos en las publicaciones, visite <http://www.un.org/depts/cartographic/english/htmain.htm>.

La mención de una empresa o producto comercial en este documento no implica aprobación por parte del PNUMA. No está permitido el uso de la información de este documento relativa a productos patentados con fines publicitarios.

© Mapas, fotografías e ilustraciones según se especifica.

Referencia bibliográfica recomendada

PNUMA (2017). *Fronteras 2017. Nuevos temas de interés ambiental*. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Nairobi.

Producción

División de Ciencias

PNUMA

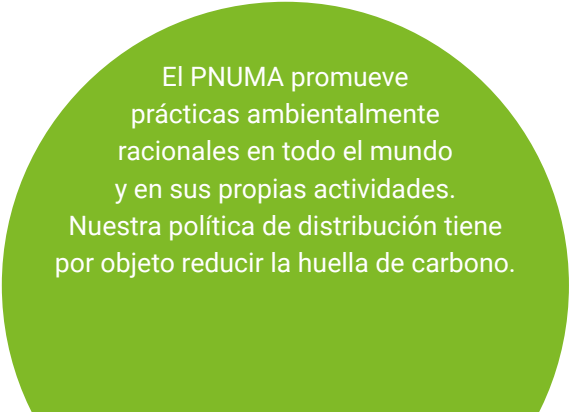
PO Box 30552

Nairobi, 00100, Kenya

Tel.: (+254) 20 7621234

Correo electrónico: publications@unenvironment.org

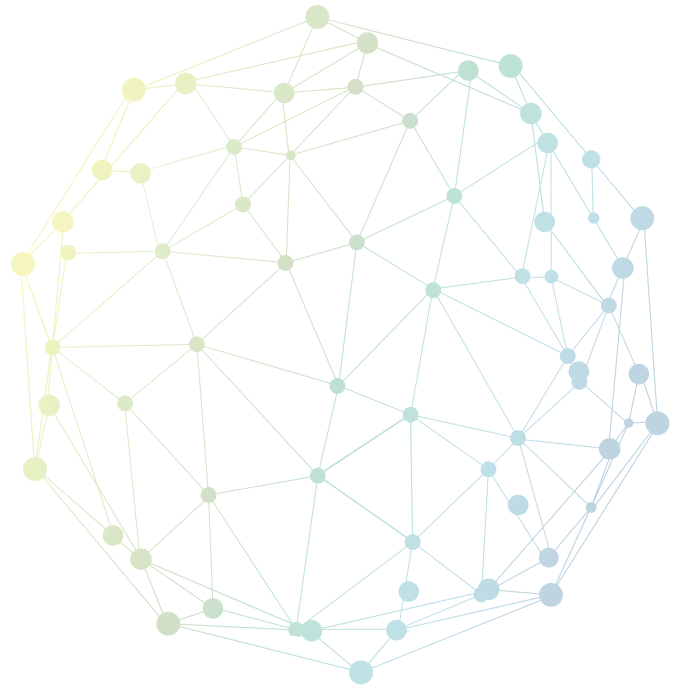
Sitio web: www.unenvironment.org/es






El PNUMA promueve
prácticas ambientalmente
racionales en todo el mundo
y en sus propias actividades.
Nuestra política de distribución tiene
por objeto reducir la huella de carbono.

FRONTERAS 2017

Nuevos temas de interés ambiental



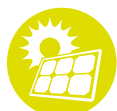
Índice

	Prólogo	7
	Introducción	8
	Agradecimientos	10
	Resistencia a los antimicrobianos: investigar la dimensión ambiental	12
	¿Qué es la resistencia a los antimicrobianos?	12
	Antibióticos, coselectores y bacterias resistentes presentes en el medio natural	14
	Mitigar el vertido de antimicrobianos en el medio natural	17
	Investigaciones y actividades futuras para fundamentar las políticas	19
	Bibliografía	20
	Nanomateriales: aplicar el principio de precaución	24
	Nanodimensiones: nuevos descubrimientos sobre materiales conocidos	24
	Formas, aplicaciones y efectos específicos	26
	Exposición del medio ambiente y la salud a los nanomateriales artificiales	29
	Aplicación de normas relativas a la seguridad sanitaria y ambiental	30
	Bibliografía	32
	Zonas marinas protegidas: obtención de beneficios para el desarrollo sostenible	36
	El deterioro de la salud de los océanos: una demanda creciente de sus beneficios	36
	El auge de las zonas marinas protegidas	38
	La mejora del sistema de gobernanza aumenta la eficacia de las zonas marinas protegidas	39
	De cara al futuro: usar las zonas protegidas para impulsar el desarrollo sostenible	42
	Bibliografía	44



Tormentas de arena y polvo: contener un fenómeno mundial

Invasión de arena y polvo	46
Factores naturales, mala gestión del suelo y cambio climático	48
Reducir los daños haciendo hincapié en escalas más pequeñas	50
Ayuda multilateral para reducir los daños causados por las tormentas de arena y polvo	52
Bibliografía	54



Soluciones solares: reducir la disparidad energética de los asentamientos sin conexión a la red

La población urbana sin conexión a la red	58
La evolución de la energía solar fotovoltaica	60
Comercialización innovadora de la energía solar sin conexión a la red	62
Seguir el camino de las energías renovables	64
Bibliografía	66



Desplazamiento ambiental: movilidad humana en el Antropoceno

¿Qué es el desplazamiento ambiental?	70
Entender el desplazamiento ambiental	72
Soluciones institucionales	74
Hacer frente al desplazamiento ambiental	76
Bibliografía	77



Prólogo



Este planeta y su población se enfrentan a un número de desafíos cada vez mayor. Pese a que son tan diversos como nuestras culturas y entornos, todos ellos pueden superarse mediante una combinación de ciencia, política y acción. El informe *Fronteras 2017* reclama la atención de los encargados de adoptar decisiones —Gobiernos, empresas y la sociedad civil— acerca de una serie de retos novedosos y les brinda conocimientos y opciones para que actúen con rapidez.

Una red mundial de científicos, expertos e instituciones ha determinado que los temas contenidos en este informe podrían tener consecuencias de calado en la sociedad, la economía y el medio ambiente. Algunos de ellos son antiguos, pero no se les ha prestado la atención debida, como la ordenación inadecuada de la tierra y la desertificación causante de tormentas de arena y polvo y desplazamientos. Otros son persistentes, si bien han surgido nuevas soluciones y herramientas para hacerles frente; entre otros, las zonas protegidas que se benefician de los recursos marinos y litorales o las soluciones energéticas fiables y asequibles. Por último, a raíz de los últimos hallazgos científicos se abordan algunos temas que justifican una intervención urgente, como la rápida aceptación de los nanomateriales y la resistencia creciente a los antibióticos.

Por ejemplo, una instalación situada en la ciudad de Patancheru, cerca de Hyderabad, en la India, trata a diario las aguas residuales de 90 fabricantes de medicamentos, que posteriormente vierte en la corriente del Isakavagu, un afluente de numerosos ríos. Cuando el equipo de investigación que dirige el profesor Joakim Larsson analizó el agua descargada, la concentración de ciprofloxacina, un antibiótico de amplio espectro, bastaba para tratar a 44.000 personas al día. No se trata de un caso aislado. En todo el mundo, el vertido de residuos municipales, agrícolas e industriales en el medio natural conlleva la presencia habitual de concentraciones de antibióticos en muchos ríos, sedimentos y suelos. De ese modo, se está impulsando de manera constante la evolución de bacterias resistentes: un fármaco que protegía nuestra salud plantea ahora el peligro de destruirla con gran sigilo.

Ha llegado el momento de que las administraciones nacionales y locales, el sector empresarial y la sociedad civil pongan freno a esas nuevas amenazas para la salud del planeta y de la población. Albergo la esperanza de que este informe inspire políticas, estrategias y medidas coordinadas dirigidas a convertir los riesgos en oportunidades, al tiempo que trabajamos en favor de un planeta sin contaminación y un futuro próspero.

A handwritten signature in black ink, which appears to read 'Erik Solheim'.

Erik Solheim
Director del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente

Introducción

El informe *Fronteras 2017* presenta seis nuevos temas de interés ambiental con consecuencias de alcance mundial. La resistencia a los antimicrobianos ha pasado a formar parte de la agenda internacional como una amenaza para la salud pública y el desarrollo sostenible. En la Asamblea General de las Naciones Unidas celebrada en septiembre de 2016, los jefes de Estado reconocieron que la situación es apremiante, pues el número de enfermedades transmisibles que están desarrollando resistencia a los fármacos disponibles aumenta a un ritmo cada vez mayor. Por otro lado, manifestaron su firme determinación de hacer frente a las causas profundas de la resistencia a los antimicrobianos en todos los sectores, en especial en las esferas de la salud humana, la sanidad animal y la agricultura. Un factor menos conocido, pero significativo, es el rol de los componentes ambientales en el aumento de la resistencia. Los residuos sólidos y las aguas residuales de los hogares y la actividad agrícola terminan con frecuencia en el medio natural, que de ese modo se convierte en un reservorio de residuos de antibióticos, patógenos resistentes y otras moléculas con propiedades antimicrobianas que favorecen la proliferación de genes de resistencia en las comunidades microbianas. Con este informe, el PNUMA se propone arrojar luz sobre la dimensión ambiental de esta cuestión y subrayar la necesidad de tener en cuenta la exposición del medio ambiente a los antimicrobianos en las iniciativas dirigidas a reducir la resistencia.

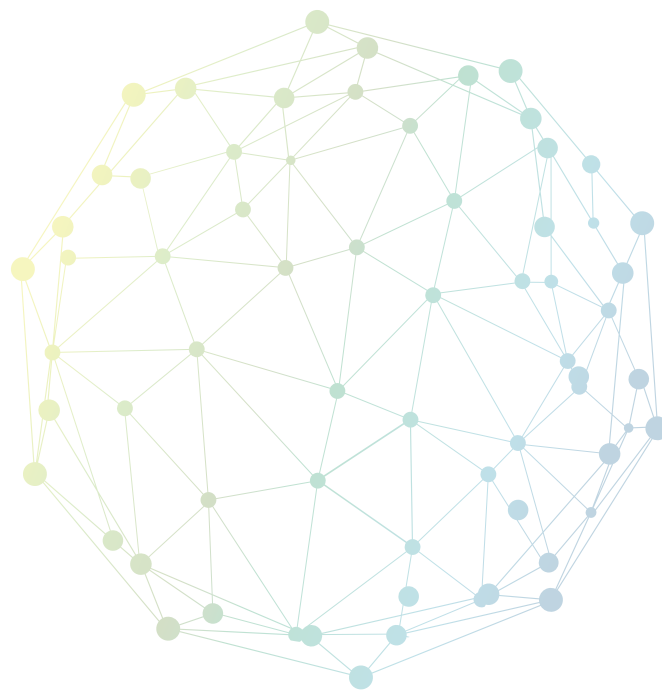
Los nanomateriales se han hecho un hueco con rapidez en numerosos aspectos de la vida cotidiana. Algunos, como la nanoplasta, pueden actuar como agentes antimicrobianos. Los nanomateriales están presentes en todo lo que consumimos con regularidad, desde productos alimentarios, cosméticos, desinfectantes, menaje, artículos para bebés, ropa, tejidos, muebles, productos electrónicos y electrodomésticos. Si bien la nanotecnología se viene desarrollando desde hace decenios, la investigación constante permite ahora fabricar materiales convencionales a una escala minúscula. Las propiedades únicas de los materiales nanométricos manufacturados ofrecen aplicaciones increíbles. No obstante, han surgido dudas —que solo se han respondido parcialmente— sobre los riesgos para la salud de esos materiales novedosos. De lo que sabemos sobre otras sustancias peligrosas con un tamaño, una forma y una composición química similares cabe extraer algunas lecciones sobre cómo gestionar la exposición, garantizar la seguridad y, al mismo tiempo, disfrutar de los muchos beneficios asociados a los nanomateriales.

En la Conferencia de las Naciones Unidas sobre los Océanos, celebrada en junio de 2017, los Estados Miembros reafirmaron su obligación de conservar y utilizar con responsabilidad los océanos, los mares y los recursos marinos en aras del desarrollo sostenible. Uno de los compromisos que se renovó fue el de promover el uso de herramientas de gestión eficaces y adaptadas a cada zona, por ejemplo en las zonas marinas protegidas, que representan una de las mejores opciones para preservar la salud de los océanos. En el último decenio, países de todo el mundo han ido adoptando medidas encaminadas a designar nuevas zonas marinas protegidas, o ampliar las ya existentes, con miras a salvaguardar los recursos naturales y las funciones ecológicas. Hasta la fecha, alrededor del 14,4% de las zonas costeras y marinas del mundo que son competencia de las jurisdicciones nacionales han sido declaradas áreas protegidas, lo que da muestras del compromiso de la comunidad internacional con la protección de esos preciados ecosistemas. En cualquier caso, para que las zonas marinas protegidas sean verdaderamente eficaces, se requiere también una gobernanza sólida en la que participen los usuarios y partes interesadas pertinentes, que influya en su comportamiento y que, en última instancia, mitigue el impacto de las prácticas extractivas. Distribuir de manera equitativa los costos y beneficios de las zonas marinas protegidas es un paso fundamental con vistas a promover un desarrollo sostenible auténtico.

Las tormentas de arena y polvo son otro fenómeno ambiental de consecuencias mundiales: provocan problemas crónicos de salud, dañan la agricultura y la infraestructura, intensifican la erosión del suelo y ocasionan la pérdida de millones de dólares al año. Las tormentas de arena y polvo guardan relación con una serie de cuestiones ambientales y de desarrollo que superan las fronteras nacionales, regionales y continentales. Varios estudios han observado que la frecuencia de las tormentas de polvo está aumentando en determinados lugares del planeta. Además, existe una relación estrecha entre el uso insostenible de la tierra y el agua y el incremento de las emisiones de polvo. Aplicar estrategias integradas que promuevan la ordenación sostenible del suelo y los recursos hídricos, la restauración de los ecosistemas y la adaptación al cambio climático puede ayudar a reducir y mitigar a largo plazo las amenazas que tienen su origen en las tormentas de arena y polvo.

En 2015, las energías renovables superaron al carbón en términos de capacidad instalada de producción. Una parte importante de ese crecimiento se atribuye a la energía solar. Se calcula que cada día se instala medio millón de paneles solares. En las zonas de África y Asia donde todavía resulta complicado acceder a una red eléctrica fiable, los sistemas pico fotovoltaicos autónomos se han popularizado con rapidez entre las comunidades sin conexión a la red de zonas tanto rurales como urbanas, sobre todo en los asentamientos informales. Su popularidad se ve impulsada por el descenso pronunciado del precio de los equipos y el servicio, así como por innovadores programas de microcréditos y aplicaciones de banca móvil. Aunque quizá la adopción de sistemas de energía solar de tamaño reducido no represente una solución a largo plazo a la cuestión general de la electrificación y la brecha energética, se trata de una de las numerosas vías de desarrollo alternativas que contribuyen a evitar las emisiones de carbono.

En 2016, unos 31,1 millones de personas se desplazaron en sus propios países debido a los conflictos, la violencia y los desastres naturales —estos últimos fueron responsables del desplazamiento de 24,2 millones de personas—. La aparición repentina de desastres naturales como las tormentas y las inundaciones, y el cambio y la degradación ambiental paulatinos —incluidos la desertificación y la subida del nivel del mar— pueden provocar que ciertas zonas dejen de ser habitables, con el consiguiente desplazamiento temporal o permanente de sus moradores. La mayor conciencia de los riesgos que plantean un entorno y un clima cambiantes exige una planificación adecuada de la adaptación *in situ* y el diseño de políticas que prevengan o gestionen los desplazamientos humanos.



Agradecimientos

Resistencia a los antimicrobianos: investigar la dimensión ambiental

Autores principales

William Gaze, Facultad de Medicina de la Universidad de Exeter, Truro (Reino Unido)

Michael Depledge, Facultad de Medicina de la Universidad de Exeter, Truro (Reino Unido)

Colaboradores y revisores

Ernesto Liébana Criado, Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria, Parma (Italia)

Klaus Kümmerer, Instituto de Química Ambiental y Sostenible, Lüneburg (Alemania)

Angelo Maggiore, Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria, Parma (Italia)

Oladele Ogunseitan, Oficina de Salud y Biodefensa Internacionales, Departamento de Estado de los Estados Unidos, Washington D. C. (Estados Unidos de América)

Jessica Petrillo, Oficina de Salud y Biodefensa Internacionales, Departamento de Estado de los Estados Unidos, Washington D. C. (Estados Unidos de América)

Thomas Van Boeckel, ETH Zürich, Zürich (Suiza)

Evelyn Wesangula, Ministerio de Salud de Kenya, Nairobi (Kenya)

Tong Zhang, Universidad de Hong Kong, Hong Kong (China)

Nanomateriales: aplicar el principio de precaución

Autora principal

Jacqueline McGlade, PNUMA, Nairobi (Kenya)

Colaboradores y revisores

Maarten Kappelle, PNUMA, Nairobi (Kenya)

David Quist, revisor independiente, Copenhague (Dinamarca)

Pinya Sarasas, PNUMA, Nairobi (Kenya)

Zonas marinas protegidas: obtención de beneficios para el desarrollo sostenible

Autores principales

Peter Jones, University College de Londres, Londres (Reino Unido)

Ruth Murray, University College de Londres, Londres (Reino Unido)

Ole Vestergaard, PNUMA, Nairobi (Kenya)

Colaboradores y revisores

Steve Fletcher, Centro Mundial de Vigilancia de la Conservación del PNUMA, Cambridge (Reino Unido)

Richard Kenchington, Universidad de Wollongong, Wollongong (Australia)

Brian MacSharry, Centro Mundial de Vigilancia de la Conservación del PNUMA, Cambridge (Reino Unido)

Mary Elizabeth Miller, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Roma (Italia)

Tormentas de arena y polvo: contener un fenómeno mundial

Autora principal

Gemma Shepherd, PNUMA, Nairobi (Kenya)

Colaboradores y revisores

Alexander Baklanov, Organización Meteorológica Mundial, Ginebra (Suiza)

Valentin Foltescu, Coalición Clima y Aire Limpio, PNUMA, París (Francia)

Utchang Kang, Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación, Bonn (Alemania)

Soluciones solares: reducir la disparidad energética de los asentamientos sin conexión a la red

Autores principales

Xavier Lemaire, Instituto de Energía de la University College de Londres, Londres (Reino Unido)

Daniel Kerr, Instituto de Energía de la University College de Londres, Londres (Reino Unido)

Colaboradores y revisores

Sean Khan, PNUMA, Nairobi (Kenya)

Vincent Kitio, Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos, Nairobi (Kenya)

Yachika Reddy, Sustainable Energy Africa NPC, Ciudad del Cabo (Sudáfrica)

Alexie Seller, Pollinate Energy, Lucknow (India)

Louise Tait, Centro de Investigación Energética, Universidad de Ciudad del Cabo (Sudáfrica)

Desplazamiento ambiental: movilidad humana en el Antropoceno

Autor principal

Oli Brown, PNUMA, Nairobi (Kenya)

Colaboradores y revisores

Sasha Alexander, Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación, Bonn (Alemania)

Pablo Manzano Baena, Comisión de Gestión de Ecosistemas, Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, Gland (Suiza)

Jonathan Davies, Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, Gland (Suiza)

Paolo Groppo, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Roma (Italia)

Dina Ionesco, Organización Internacional para las Migraciones, Ginebra (Suiza)

Alice Kimani, Organización Internacional para las Migraciones, Ginebra (Suiza)

Diane Klaimi, PNUMA, Manama (Bahrein)

Mounir Louhaichi, Centro Internacional de Investigaciones Agrícolas en Zonas Áridas, Beirut (Líbano)

Hassan Partow, PNUMA, Ginebra (Suiza)

También deseamos transmitir nuestro profundo agradecimiento a: Eili Klein y Suraj Pant, Centro para la Dinámica, Economía y Política de las Enfermedades, Washington D. C. (Estados Unidos de América); Amber Anderson, Angeline Djampou, Robert Few, Valentin Foltescu, Maarten Kappelle, Jian Liu, Jacqueline Martinez de Rosso, Nada Matta, Jacqueline McGlade, Pascal Muchesia, Susan Mutebi-Richards, Theuri Mwangi, Oona Tully, Edoardo Zandri y Shereen Zorba, PNUMA, Nairobi (Kenya)

Editora jefe

Pinya Sarasas, PNUMA, Nairobi (Kenya)

Editora (capítulos 1 a 5)

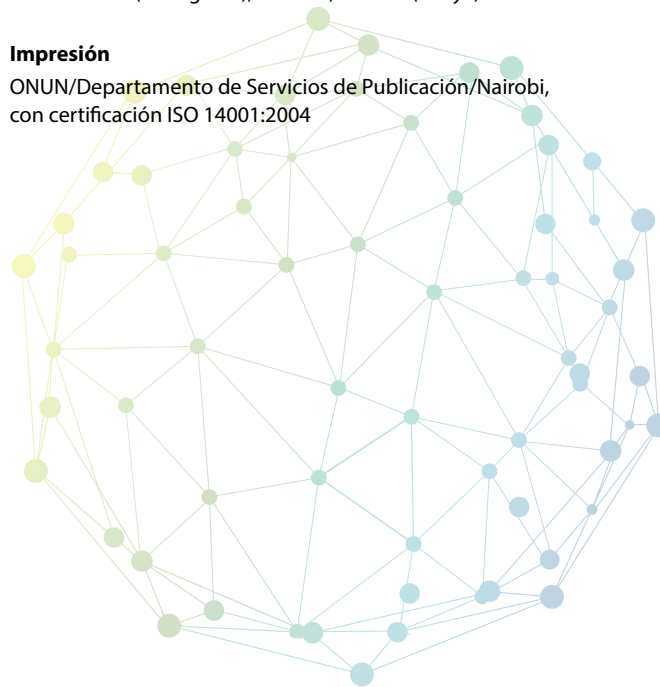
Catherine McMullen, Irlanda

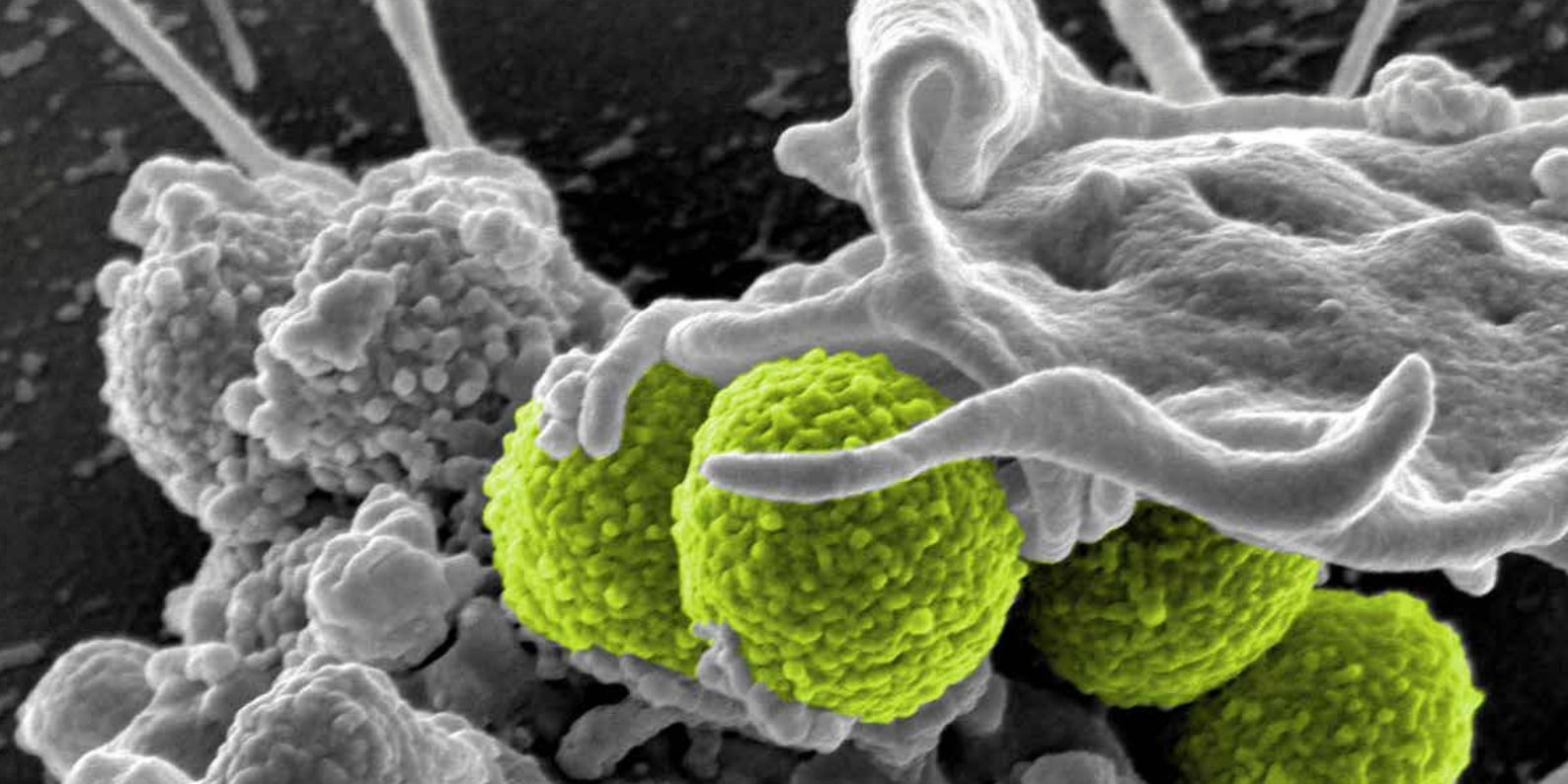
Gráficos, diseño y maquetación

Audrey Ringler (gráficos, diseño y maquetación) y Jane Muriithi (cartografía), PNUMA, Nairobi (Kenya)

Impresión

ONUN/Departamento de Servicios de Publicación/Nairobi, con certificación ISO 14001:2004





*Cuatro estafilococos dorados resistentes a la meticilina envueltos por un glóbulo blanco humano
Imagen: Instituto Nacional de Alergia y Enfermedades Infecciosas de los Estados Unidos*

Resistencia a los antimicrobianos: investigar la dimensión ambiental

¿Qué es la resistencia a los antimicrobianos?

La Organización Mundial de la Salud advierte de que podríamos estar a las puertas de una era posantibióticos en la que infecciones bacterianas que antes se trataban con facilidad podrían llevar a la muerte y en la que ya no será posible llevar a cabo intervenciones médicas rutinarias que conllevan un tratamiento antibiótico preventivo, como los implantes de sustitución osteoarticular y la quimioterapia¹. El informe O'Neill de 2014, encargado por el Gobierno británico, considera que las infecciones resistentes a los antimicrobianos pueden convertirse en la principal causa de muerte en el mundo de aquí a 2050².

Los antibióticos se usan en todo el mundo para tratar y prevenir infecciones bacterianas en los seres humanos, los animales e incluso las plantas. También se han utilizado con profusión como promotores del crecimiento con vistas a aumentar la producción de carne, si bien

la Unión Europea prohibió esta práctica en 2006^{3,4}. Pese a que el uso inapropiado de los antibióticos en las prácticas médicas y agrícolas se ha vinculado con el incremento de la resistencia, se ha prestado relativamente poca atención al papel del entorno natural en el surgimiento y la propagación de la resistencia.

La resistencia a los antimicrobianos puede ser intrínseca o adquirida. La resistencia adquirida aparece por medio de una mutación del ADN de las bacterias o de la adquisición de genes de resistencia mediante una transferencia genética horizontal, en la que el ADN de una bacteria pasa a otra. La resistencia adquirida, que hace que los tratamientos contra las infecciones en entornos clínicos y veterinarios resulten ineficaces, constituye en este momento motivo de preocupación.

Existen muchos antibióticos naturales, como la penicilina original hallada en el moho del pan; muchos otros se sintetizan o modifican químicamente a partir de antibióticos naturales para mejorar su



actividad y estabilidad⁵. Los antibióticos son un subconjunto de antimicrobianos —sustancias que destruyen los microorganismos o inhiben su crecimiento—. Ambos términos suelen emplearse indistintamente.

Siempre se produce una competencia entre los microorganismos, que generan moléculas antibióticas para impedir que otros prosperen. A fin de sobrevivir, las bacterias han desarrollado mecanismos que les permiten resistir el ataque de los antibióticos. Los estudios indican que la resistencia a los antibióticos, incluso a algunos que se emplean en la medicina moderna, existe desde hace millones de años, lo que sugiere que se trata de un fenómeno natural, antiguo y arraigado en el genoma común de los microbios⁶.

Al margen de la intervención humana, la selección para la resistencia ya se produce de manera natural en las poblaciones microbianas presentes en el suelo, el agua y otros hábitats. No obstante, el uso de cientos de miles de toneladas de antibióticos al año y la consiguiente liberación de residuos antibióticos en el medio natural da pie a un cambio radical en la magnitud de las presiones conducentes a una selección que incrementa el número de bacterias resistentes a los antibióticos⁷. Tras su consumo, la mayoría de los fármacos antibióticos se excretan sin metabolizar junto a las bacterias resistentes. Llegan, a través de los sistemas de alcantarillado o de forma más directa, al agua y la tierra, donde se mezclan con bacterias ambientales en presencia de otros contaminantes que pueden ejercer una presión adicional, directa o indirecta, en favor de la selección para la resistencia a los antibióticos. La medida en que el medio ambiente contribuye a este problema todavía es objeto de una investigación intensa, pero las respuestas dependerán en parte del grado de contaminación ambiental y del tiempo que los residuos antimicrobianos persistan en una forma activa.

Las bacterias presentes de manera natural en el agua y el suelo poseen una enorme diversidad de genes de resistencia. Las investigaciones han concluido que patógenos anteriormente vulnerables son capaces de adquirir genes de resistencia de las bacterias ambientales⁸⁻¹¹. El fundamento genético de la resistencia antibiótica de las bacterias y el modo en que la resistencia puede propagarse entre las bacterias ambientales y clínicas despiertan en este momento un gran interés¹¹⁻¹³.

La exposición humana a las bacterias ambientales y a genes de resistencia antibiótica puede tener lugar a través del agua potable, el consumo de alimentos o el contacto directo con el medio natural. Otra cuestión que se plantea es en qué medida las bacterias resistentes se transmiten a través de la cadena alimentaria o por contacto directo



¿Qué es un antimicrobiano?

Toda sustancia de origen natural, semisintético o sintético que elimina microorganismos como las bacterias, los virus, los protozoos y los hongos o inhibe su crecimiento. Las sustancias antimicrobianas se utilizan en la forma de medicamentos —antibióticos, antirretrovíricos y antifúngicos— o de productos químicos —antisépticos, desinfectantes y esterilizantes—.

¿Qué es un antibiótico?

Una sustancia antimicrobiana producida de manera natural por bacterias u hongos capaz de destruir a otros microorganismos o inhibir su crecimiento. El ser humano utiliza numerosos tipos de antibióticos como medicamentos para prevenir y tratar infecciones originadas por bacterias patógenas, hongos y ciertos parásitos. La mayoría de los antibióticos se usan principalmente para combatir las bacterias.

Dado que los antibióticos son un tipo de antimicrobiano, ambos términos suelen emplearse indistintamente.

¿Qué es la resistencia a los antimicrobianos?

La resistencia a los antimicrobianos se da cuando un microorganismo evoluciona para resistir la acción de un agente antimicrobiano y reproducirse en su presencia. En el mundo mueren alrededor de 700.000 personas al año a causa de infecciones resistentes, debido a que los fármacos antimicrobianos han perdido eficacia frente a los patógenos resistentes.

¿Qué es la selección para la resistencia?

La selección natural es un mecanismo que favorece la adaptación de los organismos para sobrevivir en su entorno, prosperar y reproducirse. En el contexto de la resistencia a los antimicrobianos, las sustancias antimicrobianas ejercen una presión selectiva sobre los microbios que alienta la evolución de la resistencia. Aquellos capaces de resistir los efectos de los antimicrobianos sobreviven y se reproducen, mientras que los vulnerables, o bien mueren, o bien ven inhibido su crecimiento. El uso excesivo e inadecuado de los antibióticos propicia la selección para la resistencia a los antibióticos de las bacterias.

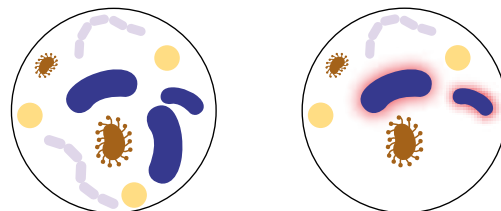
con el medio ambiente. Por ejemplo, los estudios demostraron que, incluso con un nivel de inversión elevado en el tratamiento de las aguas residuales, en las aguas de recreo de las costas del Reino Unido se producen cada año unos 6 millones de exposiciones a un tipo de *Escherichia coli* resistente a los antibióticos¹⁴. También se han documentado ampliamente casos de evolución de bacterias resistentes a los antibióticos presentes en animales destinados al consumo, con la consiguiente propagación al ser humano¹⁵.

Antibióticos, coselectores y bacterias resistentes presentes en el medio natural

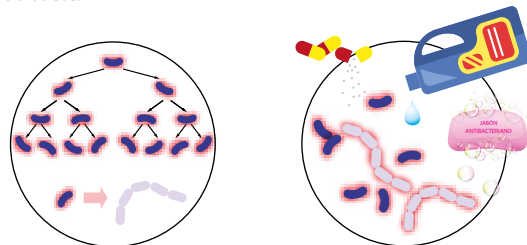
La liberación en el medio natural de antibióticos y otros compuestos antimicrobianos, como los desinfectantes y los metales pesados, puede favorecer la evolución de las bacterias resistentes. Esos compuestos se encuentran en las aguas y el suelo en concentraciones muy diversas, en función de la fuente y su comportamiento en términos de tasa de degradación y adsorción a sólidos^{16, 17}. Las aguas residuales municipales contienen una variedad enorme de contaminantes: productos farmacéuticos y de higiene personal procedentes de los hogares; residuos hospitalarios con concentraciones elevadas de antibióticos y desinfectantes; y compuestos de la actividad industrial, entre otros los metales pesados. Algunos centros de producción farmacéutica descargan cantidades ingentes de antibióticos directamente en el medio ambiente, lo que propicia concentraciones que igualan o superan los niveles empleados para tratar las infecciones en los seres humanos^{18, 19}. El elevado nivel de resistencia que se observa en los alrededores de las zonas de descarga demuestra sin lugar a dudas que la selección para la resistencia a los antibióticos tiene lugar en entornos contaminados²⁰. No obstante, las concentraciones de antibióticos en la mayoría de los efluentes, las aguas superficiales y los suelos podrían ser 1.000 veces inferiores a los niveles que se emplean en los desechos clínicos y los efluentes industriales brutos¹⁶. Es la contaminación en bajas concentraciones la que revierte especial importancia: es demasiado baja para resultar letal para las bacterias expuestas, pero suficiente para impulsar la selección para la resistencia²¹. Se plantea la duda de cuál es el umbral a partir del cual los antibióticos carecen de efecto selectivo en las comunidades microbianas. Cuando la concentración de antibióticos es baja, probablemente la adquisición de resistencia dependa en mayor medida de la transferencia de genes de otras bacterias, lo que se denomina transferencia genética horizontal. Así pues, resulta poco probable que los estudios de especies únicas de bacterias sobre placas de agar propicien hallazgos significativos acerca del desarrollo de la resistencia en las comunidades microbianas complejas presentes en el medio natural.

Los niveles de concentración en las aguas de los ríos dependen de si existen instalaciones de tratamiento de las aguas residuales y de si las poblaciones a las que prestan servicio utilizan antibióticos. Por lo general, las plantas de tratamiento se conciben para eliminar contaminantes convencionales como los nutrientes, la materia orgánica, los sólidos en suspensión y, en cierta medida, los patógenos, pero no los antibióticos²². Los residuos agrícolas, entre otros el estiércol de los animales, también pueden contener concentraciones

Selección natural y resistencia a los antibióticos



En el mundo microbiano siempre surge competencia entre los organismos, que producen moléculas antibióticas para impedir que otros prosperen. Los organismos vulnerables perecen. Sin embargo, sabemos que las bacterias y los hongos han desarrollado mecanismos de defensa para resistir el ataque de los antibióticos y sobrevivir; en otras palabras, para hacerse resistentes a los antibióticos.



Los genes de resistencia se transmiten de generación en generación, e incluso entre bacterias no relacionadas entre sí por medio de la transferencia genética horizontal. El uso excesivo e inadecuado de los fármacos antibióticos, así como la mayor exposición a sustancias antimicrobianas presentes en el medio natural, favorecen la selección para la resistencia a los antibióticos de las bacterias.

▶ **Vídeo: Los antibióticos y el medio natural: una crisis silenciosa**



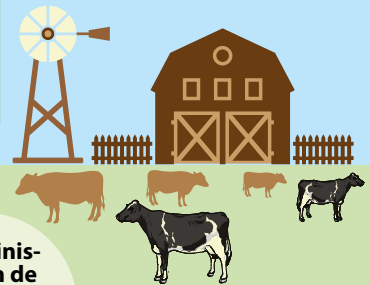
Enlace: www.youtube.com/watch?v=WSlrKEUxPs

© Universidad McMaster

La resistencia a los antimicrobianos y el medio natural

El medio ambiente es clave en la resistencia a los antibióticos. Las bacterias presentes en el suelo, los ríos y el agua del mar pueden desarrollar resistencia al entrar en contacto con bacterias resistentes, antibióticos y agentes desinfectantes que se liberan a raíz de la actividad humana. Posteriormente, las personas y el ganado pueden verse expuestos a bacterias más resistentes a través de los alimentos, el agua y el aire.

El consumo de **antibióticos de uso humano** se disparó un 36% en la década de 2000



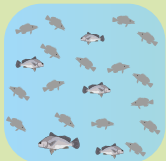
Hasta **el 75% de los antibióticos** que se usan en la acuicultura puede perderse en el entorno

El 70% de los antibióticos se administran a **animales**

Los abonos de estiércol contaminan con antibióticos las escorrentías superficiales, las aguas subterráneas y las redes de alcantarillado

La **administración de antimicrobianos** al ganado aumentará un **67% de aquí a 2030**

Los antibióticos se emplean cada vez más para impulsar el crecimiento de los animales en la ganadería intensiva, sobre todo en los países en desarrollo



Los antibióticos pueden ser absorbidos por las plantas y los cultivos



Entre las **principales corrientes de desechos** se hallan las aguas residuales, el estiércol y las escorrentías de la agricultura, que contienen residuos de antibióticos y bacterias resistentes a los antibióticos

Las plantas de tratamiento de las aguas residuales **no son capaces de eliminar** todos los antibióticos y bacterias resistentes

Hasta **el 80% de los antibióticos** que se consumen se excretan a través de la orina y las heces

El 30% de los antibióticos se administran a seres humanos

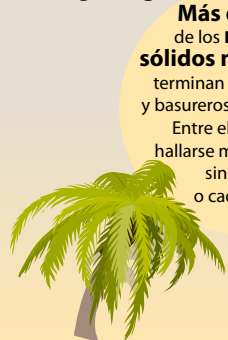
Las bacterias resistentes a los antibióticos pueden estar presentes tanto en el **agua sin tratar** como en el **agua potable tratada**



Más del **50%** de los **residuos sólidos municipales** terminan en vertederos y basureros a cielo abierto. Entre ellos pueden hallarse medicamentos sin utilizar o caducados.

En la mayoría de los efluentes, las concentraciones de antimicrobianos son **demasiado bajas para resultar letales** para las bacterias expuestas, pero pueden bastar para estimular la resistencia a los antimicrobianos

Una amplia gama de **contaminantes presentes en las aguas residuales municipales e industriales** aumentan la presión que favorece la resistencia de las bacterias



Las bacterias resistentes a múltiples medicamentos

son frecuentes en las aguas marinas y en los sedimentos cercanos a zonas de vertido de la acuicultura, la actividad industrial y los municipios





constituir puntos propicios para la transferencia genética horizontal, dada la alta densidad bacteriana y la disponibilidad de nutrientes^{31,32}. En consecuencia, los lodos de las aguas residuales y cloacales son herramientas de vigilancia importantes con las que es posible evaluar la abundancia de bacterias resistentes a los antibióticos y de genes de resistencia en las poblaciones humanas^{33,34}.

Mitigar el vertido de antimicrobianos en el medio natural

La normativa vigente ha tardado en prestar atención al vertido de antibióticos y bacterias resistentes a los antibióticos. La conciencia cada vez mayor de la posibilidad de que los residuos de antibióticos dañen los organismos acuáticos dio pie a la inclusión en 2015 de tres compuestos antibióticos en la lista de vigilancia de nuevos contaminantes del agua de la Unión Europea³⁵. Se han puesto en marcha iniciativas voluntarias para reducir las concentraciones de antibióticos en los efluentes de una serie de fabricantes de medicamentos²⁵. En septiembre de 2016, varias farmacéuticas destacadas firmaron una hoja de ruta contra la resistencia antimicrobiana, que se presentó ante las Naciones Unidas con la gestión ambiental de la producción relacionada con los antibióticos como tema central³⁶.

Algunos compuestos coseleccionadores³³ como el triclosán, presentes en una amplia gama de productos de consumo, han sido prohibidos o restringidos en diversos mercados. La Asociación de Naciones de Asia Sudoriental ha aplicado una restricción sobre la concentración máxima de triclosán en los cosméticos y artículos de higiene personal³⁷. La Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos prohibió en 2016 comercializar sin receta productos antibacterianos que contengan triclosán y otros 18 compuestos, debido a determinados hallazgos que indican que la exposición prolongada a esos ingredientes activos puede conllevar riesgos para la salud, tales como la resistencia bacteriana o diversos efectos hormonales³⁸.

La intensificación de la regulación de los antibióticos y los compuestos coselectivos podría impulsar el desarrollo de soluciones asequibles para la mitigación y reducción de riesgos y estimular el debate sobre quién es responsable de los residuos de los antibióticos y de las bacterias resistentes que originan. Cabe pensar que los fabricantes de antibióticos, quienes emiten recetas, los agricultores e incluso los pacientes son en cierta medida responsables de los efectos nocivos de los residuos de los antibióticos que llegan al medio natural. Los cambios significativos en la lucha contra la resistencia a los antibióticos, especialmente en el contexto del enfoque «Una salud», podrían transformar los incentivos para reducir el consumo de antibióticos y mejorar las prácticas de gestión de los residuos.

Coselección para la resistencia a los antibióticos, los metales y los biocidas



Video: ¿Por qué prohibió la FDA el jabón antibacteriano?



Enlace: www.youtube.com/watch?v=9dExiRwh-DQ
Fotografía: Galushko Sergey/Shutterstock.com

© SciShow



Investigaciones y actividades futuras para fundamentar las políticas

Se observa una resistencia cada vez mayor a los antibióticos en patógenos clínicamente importantes, la producción ganadera se intensifica para satisfacer la demanda creciente, y el crecimiento de la población y el rápido proceso de urbanización están provocando más contaminación. En conjunto, esas tendencias sugieren que los procesos que impulsan la proliferación de la resistencia a los antibióticos seguirán en marcha en el futuro próximo, a no ser que se apliquen medidas concertadas y coordinadas a nivel mundial. Cabe esperar que esas tendencias nos empujen a gestionar mejor el problema y adoptar políticas que tengan en cuenta el papel fundamental del medio natural.

Entre las medidas cautelares podría incluirse la reducción del vertido general de antibióticos —y de los compuestos coseleccionadores— en el medio natural, mediante un uso más controlado y sensato y una intervención en puntos clave como hospitales, centros de fabricación de fármacos, plantas de tratamiento de aguas residuales y fuentes agrícolas, a través de mejoras en la gestión de los sistemas de alcantarillado y las aguas residuales. Otras medidas preventivas consistirían, por ejemplo, en poner fin al uso de los antibióticos como promotores del crecimiento en la cría de animales; minimizar la utilización de productos domésticos y de higiene personal que contengan sustancias antimicrobianas; y fomentar innovaciones tecnológicas que faciliten que los antibióticos de reciente creación se descompongan rápidamente después de brindar sus efectos beneficiosos.

Se requieren políticas responsables basadas en estudios fundamentales sobre la contribución de la contaminación con productos químicos antimicrobianos y coseleccionadores en el medio natural al nivel general de resistencia a los antimicrobianos, así como sobre la evolución y la transmisión de la resistencia. Por ejemplo, investigar qué sucede con los residuos de antibióticos que entran en contacto con el suelo ayuda a los órganos reguladores a saber qué antibióticos permanecen bioactivos —es decir, son capaces de ejercer una presión selectiva— y, por tanto, exigen más atención²³. De igual modo, conocer la capacidad de selección para la resistencia de los antimicrobianos presentes en entornos acuáticos sirve para diseñar normativas y estrategias de gestión de las aguas residuales más eficaces que tengan en cuenta los efectos de la selección, en lugar de la concentración de los vertidos. Es fundamental comunicar los hallazgos a un público más amplio, a fin de concienciar sobre el problema a los ciudadanos, los encargados de la formulación de políticas y los dirigentes locales.

Cuando un tratamiento con antibióticos no funciona a causa de la resistencia, se utilizan más antibióticos. Así se ha llegado a una

Promover la participación de los ciudadanos en la vigilancia de la presencia de antimicrobianos en el medio natural

Para reducir la resistencia a los antimicrobianos, los investigadores necesitan saber cómo tiene lugar el encuentro entre las bacterias, los antimicrobianos y los compuestos coseleccionadores en distintos entornos, y cómo esa exposición da pie a la aparición y la propagación de la resistencia. Numerosos obstáculos —como la limitación de tiempo, recursos y datos— merman nuestra capacidad para responder a preguntas tan fundamentales.

La ayuda de la sociedad civil podría complementar la labor de los científicos y técnicos profesionales, y al reconocerse su aportación se sentirán partícipes en la solución y adquirirán conciencia. Involucrar a partes interesadas de distintos sectores permitiría hacer frente a la falta de datos y disfrutar de oportunidades para adquirir nuevos conocimientos. Ayudaría a los científicos a detectar puntos clave de contaminación antimicrobiana, trazar patrones y determinar estrategias de intervención.

Por ejemplo, con las herramientas en línea se podría alentar a los agricultores a proveer datos sobre el tipo y la cantidad de antibióticos que utilizan, así como acerca del modo en que se eliminan las aguas residuales contaminadas con antibióticos. Los consumidores interesados podrían aportar datos sobre su consumo de antibióticos, la eliminación de los fármacos caducados o el uso de productos domésticos con propiedades antimicrobianas. Los estudiantes de secundaria podrían recoger muestras de tierra y agua, o incluso muestras fecales de determinadas especies animales indicadoras, con vistas a su análisis en proyectos orientados por científicos^{40, 41}. Podrían diseñarse campañas en forma de encuentros específicos atractivos para los programadores, a fin de que colaboren en el desarrollo de nuevas herramientas, tales como aplicaciones móviles para la identificación de sustancias químicas y el análisis estadístico de las concentraciones y los patrones temporales.

sobreutilización y a la demanda permanente de nuevos antibióticos que sustituyan a los que dejan de ser eficaces. Cuando los médicos y veterinarios atienden a pacientes con infecciones a quienes resultaría beneficioso un tratamiento con antibióticos, no tienen tiempo para pensar en la resistencia antimicrobiana en el medio natural. Sin embargo, debe evitarse que antibióticos viables, compuestos coseleccionadores y bacterias resistentes lleguen al medio natural, donde pueden favorecer la aparición de nuevos genes de resistencia. Sin prevención, nos enfrentaremos a un riesgo directo y considerable de exposición a reservorios ambientales de patógenos resistentes a los antimicrobianos.

Bibliografía

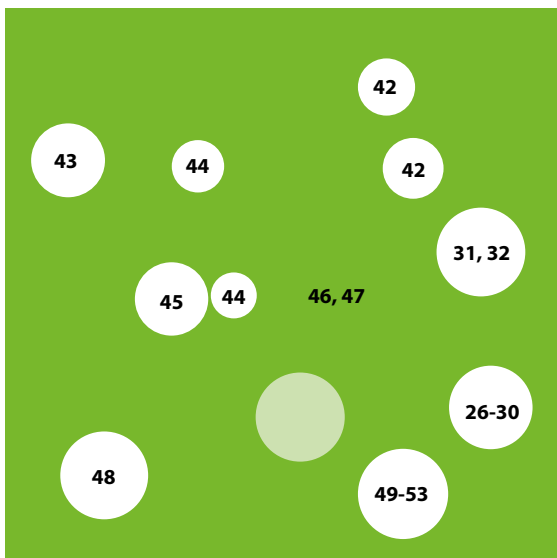
- Chan, M. (2011). World Health Day 2011: Combat drug resistance: no action today means no cure tomorrow, Statement by WHO Director-General, Dr Margaret Chan 6 April 2011. World Health Organization, Geneva. http://www.who.int/mediacentre/news/statements/2011/whd_20110407/en/
- O'Neill Commission (2014). *Review on Antimicrobial Resistance: Tackling a crisis for the health and wealth of nations*. Review on Antimicrobial Resistance, London. <https://amr-review.org/Publications.html>
- Angelakis, E., Merhej, V. and Raouf D. (2013) Related actions of probiotics and antibiotics on gut microbiota and weight modification. *The Lancet Infectious Diseases*, 13(10), 889-99. https://www.researchgate.net/publication/257134399_Related_actions_of_probiotics_and_antibiotics_on_gut_microbiota_and_weight_modification
- Cogliani, C., Goossens, H. and Greko, C. (2011). Restricting Antimicrobial Use in Food Animals: Lessons from Europe. *Microbe*, 6(6), 274–279. <https://louse.house.gov/sites/slaughter.house.gov/files/migrated/uploads/Cogliani%202011.pdf>
- O'Brien, J. and Wright, G.D. (2011). An ecological perspective of microbial secondary metabolism. *Current Opinion in Biotechnology*, 22(4), 552-558. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0958166911000620>
- Bhullar, K., Waglechner, N., Pawlowski, A., Koteva, K., Banks, E.D., Johnston, M.D., Barton, H.A. and Wright, G.D. (2012). Antibiotic Resistance is Prevalent in an Isolated Cave Microbiome. *PLoS ONE*, 7(4), e34953. <http://journals.plos.org/plosone/article/file?id=10.1371/journal.pone.0034953&type=printable>
- Gaze, W.H., Zhang, L., Abdoulsalam, N.A., Hawkey, P.M., Calvo-Bado, L., Royle, J., Brown, H., Davis, S., Kay, P., Boxall, A.B.A. and Wellington, E.M.H. (2011). Impacts of anthropogenic activity on the ecology of class 1 integrons and integron-associated genes in the environment. *The International Society for Microbial Ecology*, 5, 1253-1261. <https://www.nature.com/ismej/journal/v5/n8/full/ismej201115a.html>
- Humeniuk, C., Arlet, G., Gautier, V., Grimont, P., Labia, R. and Philippon, A. (2002). Beta-lactamases of *Kluyvera ascorbata*, probable progenitors of some plasmid-encoded CTX-M types. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 46(9), 3045-3049. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC127423/pdf/0710.pdf>
- Nordmann, P., Lartigue, M.F. and Poirel, L. (2008). Beta-lactam induction of ISEcp1B-mediated mobilization of the naturally occurring bla(CTX-M) beta-lactamase gene of *Kluyvera ascorbata*. *FEMS Microbiology Letter*, 288, 247-249. <https://academic.oup.com/femsle/article-pdf/288/2/247/1415383/288-2-247.pdf>
- Poirel, L., Rodriguez-Martinez, J.M., Mammari, H., Liard, A. and Nordmann, P. (2005). Origin of plasmid-mediated quinolone resistance determinant QnrA. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 49(8), 3523-3525. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1196254/pdf/0337-05.pdf>
- Wellington, E.M., Boxall, A.B., Cross, P., Feil, E.J., Gaze, W.H., Hawkey, P.M., Johnson-Rollings, A.S., Jones, D.L., Lee, N.M., Otten, W., Thomas, C.M. and Williams, A.P. (2013). The role of the natural environment in the emergence of antibiotic resistance in Gram-negative bacteria. *The Lancet Infectious Diseases*, 13(2), 155-165. [http://www.thelancet.com/pdfs/journals/laninf/PIIS1473-3099\(12\)70317-1.pdf](http://www.thelancet.com/pdfs/journals/laninf/PIIS1473-3099(12)70317-1.pdf)
- Ashbolt, N.J., Amezquita, A., Backhaus, T., Borriello, P., Brandt, K.K., Collignon, P., Coors, A., Finley, R., Gaze, W.H., Heberer, T., Lawrence, J.R., Larsson, D.G.J., McEwen, S.A., Ryan, J.J., Schönfeld, J., Silley, P., Snape, J.R., Van den Eede, C. and Topp, E. (2013). Human Health Risk Assessment (HHRA) for environmental development and transfer of antibiotic resistance. *Environmental Health Perspectives*, 121(9), 993-1001. <https://ehp.niehs.nih.gov/wp-content/uploads/121/9/ehp.1206316.pdf>
- Finley, R.L., Collignon, P., Larsson, D.G.J., McEwen, S.A., Li, X.Z., Gaze, W.H., Reid-Smith, R., Timinouni, M., Graham, D.W. and Topp, E. (2013). The scourge of antibiotic resistance: the important role of the environment. *Clinical Infectious Diseases*, 57(5), 704-710. <https://academic.oup.com/cid/article-pdf/57/5/704/885497/cit355.pdf>
- Leonard, A.F., Zhang, L., Balfour, A.J., Garside, R. and Gaze, W.H. (2015). Human recreational exposure to antibiotic resistant bacteria in coastal bathing waters. *Environment International*, 82, 92-100. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412015000409>
- Price, L.B., Stegger, M., Hasman, H., Aziz, M., Larsen, J., Andersen, P.S., Pearson, T., Waters, A.E., Foster, J.T., Schupp, J., Gillece, J., Driebe, E., Liu, C.M., Springer, B., Zdovc, I., Battisti, A., Franco, A., Żmudzki, J., Schwarz, S., Butaye, P., Jouy, E., Pomba, C., Porrero, C., Ruimy, R., Smith, T.C., Robinson, A.D., Weese, J.S., Arriola, C.S., Yu, F., Laurent, F., Keim, P., Skov, R. and Aarestrup, F.M. (2012). *Staphylococcus aureus* CC398: Host adaptation and emergence of methicillin resistance in livestock. *mBio*, 3(1), e00305-e00311. <http://mbio.asm.org/content/3/1/e00305-11.full.pdf+html>
- Kummerer, K. (2009). Antibiotics in the aquatic environment – a review – part I. *Chemosphere*, 75(4), 417-434. https://www.researchgate.net/publication/284296697_Antibiotics_in_the_aquatic_environment_-_A_review
- Kummerer, K. (2009). Antibiotics in the aquatic environment – a review – part II. *Chemosphere*, 75(4), 435-441. https://www.researchgate.net/publication/23959090_Antibiotics_in_the_aquatic_environment_-_A_review_-_Part_II
- Larsson, D.G.J. (2010). Release of active pharmaceutical ingredients from manufacturing sites – need for new management strategies. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 6(1), 184-186. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ieam.20/epdf>
- Larsson, D.G.J. (2014). Pollution from drug manufacturing: review and perspectives. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 369, 20130571. <http://rstb.royalsocietypublishing.org/content/369/1656/20130571.full.pdf>
- Rutgersson C., Fick, J., Marathe, N., Kristiansson, E., Janzon, A., Angelin, M., Johansson, A., Shouche, Y., Flach, C.F. and Larsson, D.G. (2014). Fluoroquinolones and qnr genes in sediment, water, soil, and human



- fecal flora in an environment polluted by manufacturing discharges. *Environmental Science & Technology*, 48(14), 7825-7832.
21. Gullberg, E., Cao, S., Berg, O.G., Ilback, C., Sandegren, L., Hughes, D. and Andersson, D.I. (2011). Selection of resistant bacteria at very low antibiotic concentrations. *PLoS Pathogens*, 7(7), e1002158. <http://journals.plos.org/plospathogens/article/file?id=10.1371/journal.ppat.1002158&type=printable>
 22. Pruden, A., Larsson, D.G., Amezquita, A., Collignon, P., Brandt, K.K., Graham, D.W., Lazorchak, J.M., Suzuki, S., Silley, P., Snape, J.R., Topp, E., Zhang, T. and Zhu, Y.G. (2013). Management options for reducing the release of antibiotics and antibiotic resistance genes to the environment. *Environmental Health Perspectives*, 121(8), 878-885. <https://ehp.niehs.nih.gov/wp-content/uploads/121/8/ehp.1206446.pdf>
 23. Subbiah, M., Mitchell, S.M., Ullman, J.L. and Call, D.R. (2011). β -Lactams and Florfenicol Antibiotics Remain Bioactive in Soils while Ciprofloxacin, Neomycin, and Tetracycline Are Neutralized. *Applied and Environmental Microbiology*, 77(20), 7255-7260. <http://aem.asm.org/content/77/20/7255.full.pdf+html>
 24. Berendonk, T.U., Manaia, C.M., Merlin, C., Fatta-Kassinos, D., Cytryn, E., Walsh, F., Burgmann, H., Sorum, H., Norstrom, M., Pons, M., Kreuzinger, N., Huovinen, P., Stefani, S., Schwartz, T., Kisand, V., Baquero, F. and Martinez, J.L. (2015). Tackling antibiotic resistance: the environmental framework. *Nature Reviews Microbiology*, 13, 310-317. <https://www.nature.com/nrmicro/journal/v13/n5/full/nrmicro3439.html>
 25. Boxall, A.B.A., Rudd, M.A., Brooks, B.W., Caldwell, D.J., Choi, K., Hickmann, S., Innes, E., Ostapyk, K., Staveley, J.P., Verslycke, T., Ankley, G.T., Beazley, K.F., Belanger, S.E., Berninger, J.P., Carriquiriborde, P., Coors, A., DeLeo, P.C., Dyer, S.D., Ericson, J.F., Gagné, F., Giesy, J.P., Gouin, T., Hallstrom, L., Karlsson, M.V., Larsson, D.G.J., Lazorchak, J.M., Mastrocco, F., McLaughlin, A., McMaster, M.E., Meyerhoff, R.D., Moore, R., Parrott, J.L., Snape, J.R., Murray-Smith, R., Servos, M.R., Sibley, P.K., Straub, J.O., Szabo, N.D., Topp, E., Tetreault, G.R., Trudeau, V.L. and Van Der Kraak, G. (2012). Pharmaceuticals and personal care products in the environment: what are the big questions? *Environmental Health Perspectives*, 120(9), 1221-1229. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3440110/pdf/ehp.1104477.pdf>
 26. Gullberg E, Albrecht, L.M., Karlsson, C., Sandegren, L. and Andersson, D.I. (2014). Selection of a multidrug resistance plasmid by sublethal levels of antibiotics and heavy metals. *mBio*, 5(5), e01918-14. <http://mbio.asm.org/content/5/5/e01918-14.full.pdf+html>
 27. Baker-Austin, C., Wright, M.S., Stepanauskas, R., McArthur, J.V. (2006). Co-selection of antibiotic and metal resistance. *Trends in Microbiology*, 14(4), 176-182. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16537105>
 28. Gaze, W.H., Zhang, L., Abdoulsalam, N.A., Hawkey, P.M., Calvo-Bado, L., Royle, J., Brown, H., Davis, S., Kay, P., Boxall, A.B.A and Wellington, E.M. (2011). Impacts of anthropogenic activity on the ecology of class 1 integrons and integron-associated genes in the environment. *The ISME Journal*, 5(8), 1253-1261. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21368907>
 29. Wales, A.D. and Davies, R.H. (2015). Co-Selection of Resistance to Antibiotics, Biocides and Heavy Metals, and Its Relevance to Foodborne Pathogens. *Antibiotics*, 4(4), 567-604. <http://www.mdpi.com/2079-6382/4/4/567/pdf>
 30. Seiler, C. and Berendonk, T.U. (2012). Heavy metal driven co-selection of antibiotic resistance in soil and water bodies impacted by agriculture and aquaculture. *Frontiers in Microbiology*, 3(399). <http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fmicb.2012.00399/full>
 31. Stalder, T., Barraud, O., Casellas, M., Dagot, C. and Ploy, M.-C. (2012). Integron involvement in environmental spread of antibiotic resistance. *Frontiers in Microbiology*, 3(119). <http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fmicb.2012.00119/full>
 32. Tennstedt, T., Szczepanowski, R., Braun, S., Pühler, A. and Schlüter, A. (2003). Occurrence of integron-associated resistance gene cassettes located on antibiotic resistance plasmids isolated from a wastewater treatment plant. *FEMS Microbiology Ecology*, 45(3), 239-252. <https://academic.oup.com/femsec/article-pdf/45/3/239/18091371/45-3-239.pdf>
 33. Yang, Y., Li, B., Ju, F. and Zhang, T. (2013). Exploring variation of antibiotic resistance genes in activated sludge over a four-year period through a metagenomic approach. *Environmental Science & Technology*, 47(18), 10197-10205. <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es4017365>
 34. Zhang, T. (2016). Antibiotics and resistance genes in wastewater treatment plants. *AMR Control*, 9 July 2016. <http://resistancecontrol.info/amr-in-food-water-and-the-environment/antibiotics-and-resistance-genes-in-wastewater-treatment-plants/>
 35. EU JRC (2016). *First Watch List for emerging water pollutants*. The Joint Research Centre of the European Union. <https://ec.europa.eu/jrc/en/news/first-watch-list-emerging-water-pollutants>
 36. IFPMA (2016). *Leading Pharmaceutical Companies Present Industry Roadmap to Combat Antimicrobial Resistance*. International Federation of Pharmaceutical Manufacturers & Association Press Release, 20 September 2016. <https://www.ifpma.org/resource-centre/leading-pharmaceutical-companies-present-industry-roadmap-to-combat-antimicrobial-resistance/>
 37. ASEAN (2016). *Opinion on Triclosan in cosmetic products*. The Association of Southeast Asian Nations http://aseancosmetics.org/uploads/UserFiles/Opinion%20on%20Triclosan%20Feb_%202016.pdf
 38. US-FDA. *FDA issues final rule on safety and effectiveness of antibacterial soaps*. United States Food and Drug Administration. <https://www.fda.gov/newsevents/newsroom/pressannouncements/ucm517478.htm>
 39. Smith, D.L., Dushoff, J. and Morris, J.G. (2005). Agricultural antibiotics and human health. *PLoS Medicine*, 2(8), e232. <http://journals.plos.org/plosmedicine/article?id=10.1371/journal.pmed.0020232>
 40. Macquarie University (2017). *Citizen scientists tackling antibiotic resistance one possum poop at a time*. *This Week*, 7 August 2017. Macquarie University, Sydney. <http://www.mq.edu.au/thisweek/2017/08/07/citizen-scientists-tackling-antibiotic-resistance-one-possum-poop-at-a-time>

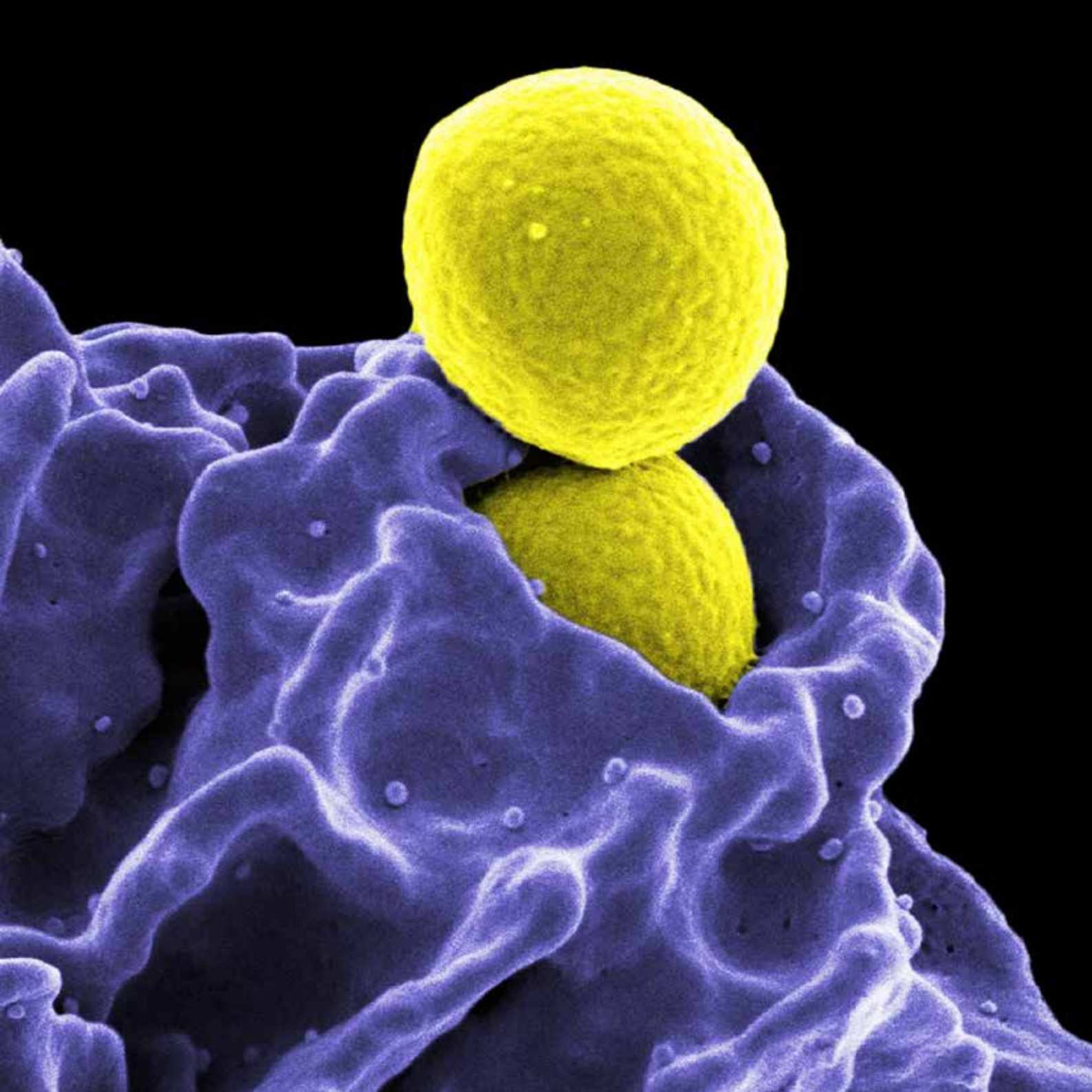
41. NSF (2017). RAISE: Neighborhood Environments as Socio-Techno-bio Systems. National Science Foundation's Awards website. https://www.nsf.gov/awardsearch/showAward?AWD_ID=1744724&HistoricalAwards=false

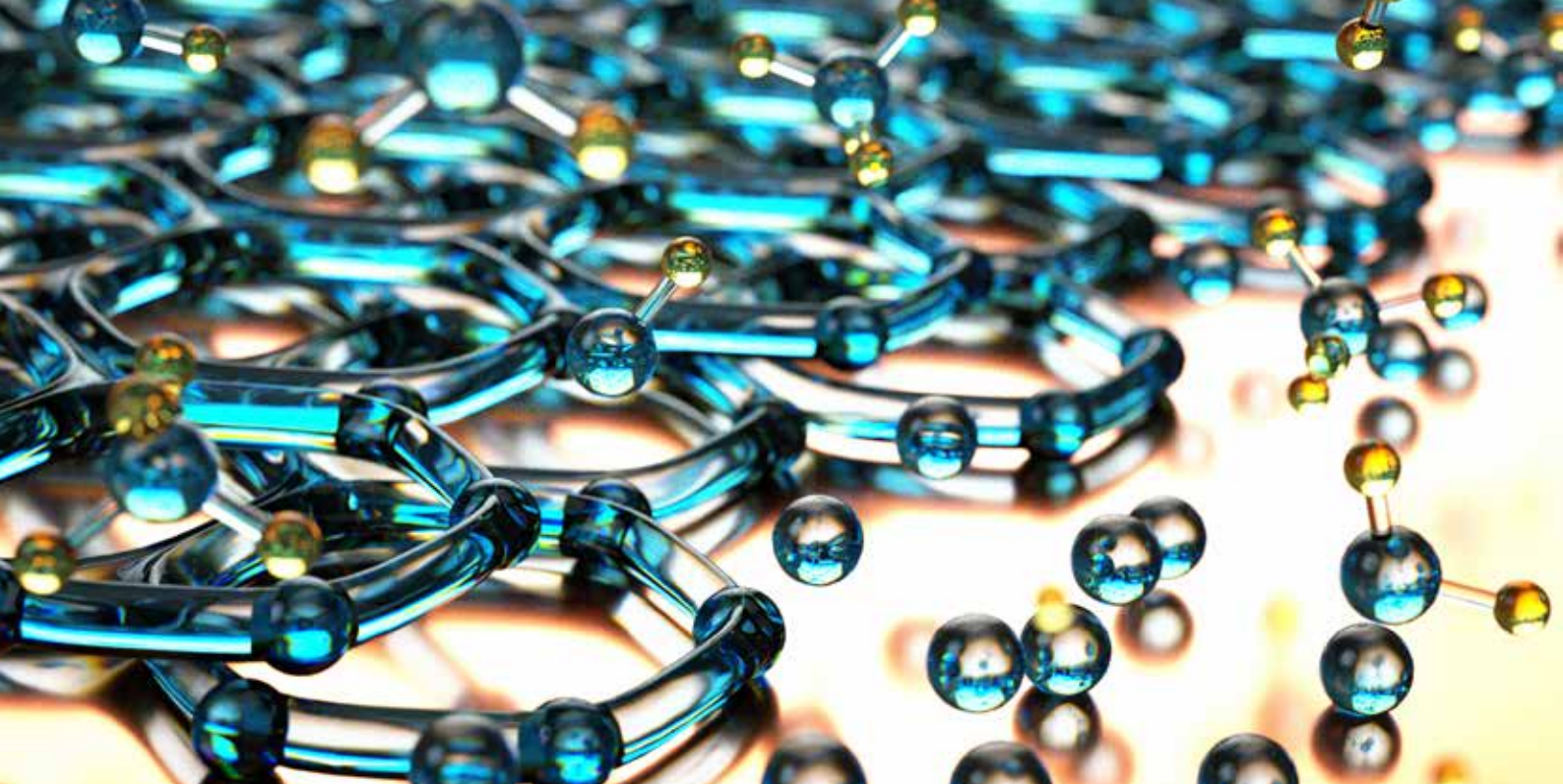
Referencias bibliográficas de los gráficos



42. Van Boeckel, T.P., Brower, C., Gilbert, M., Grenfell, B.T., Levin, S.A., Robinson, T.P., Teillant, A. and Laxminarayan, R. (2015). Global trends in antimicrobial use in food animals. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(18), 5649–5654. <http://www.pnas.org/content/112/18/5649.abstract>
43. Grigorakis, K. and Rigos, G. (2011). Aquaculture effects on environmental and public welfare – The case of Mediterranean mariculture. *Chemosphere*, 85(6), 899-919. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653511008344?via%3Dihub>
44. O'Neill Commission (2015). *Antimicrobials in agriculture and the environment: Reducing unnecessary use and waste*. The Review on Antimicrobial Resistance, London. <https://amr-review.org/Publications.html>
45. Gothwal, R. and Shashidhar, T. (2014). Antibiotic Pollution in the Environment: A Review. *Clean & Soil, Air, Water*, 42, 111. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/clen.201300989/abstract>
46. Bergeron, S., Boopathy, R., Nathaniel, R., Corbin, A. and LaFleur, G. (2015). Presence of antibiotic resistant bacteria and antibiotic resistance genes in raw source water and treated drinking water. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 102, 370-374. https://www.researchgate.net/publication/276075506_Presence_of_antibiotic_resistant_bacteria_and_antibiotic_resistance_genes_in_raw_source_water_and_treated_drinking_water
47. Jia, S., Shi, P., Hu, Q., Li, B., Zhang, T. and Zhang, X.X. (2015). Bacterial community shift drives antibiotic resistance promotion during drinking water chlorination. *Environmental Science & Technology*, 49(20), 12271-12279. https://www.researchgate.net/publication/282135668_Bacterial_Community_Shift_Drives_Antibiotic_Resistance_Promotion_during_Drinking_Water_Chlorination
48. Hoonweg, D. and Bhada-Tata, P. (2012). *What a Waste : A Global Review of Solid Waste Management*. Urban development series; Knowledge papers no. 15. World Bank, Washington, DC. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/17388>
49. Berglund, B. (2015). Environmental dissemination of antibiotic resistance genes and correlation to anthropogenic contamination with antibiotics. *Infection Ecology & Epidemiology*, 5, 28564. <http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.3402/iee.v5.28564?needAccess=true>
50. Guyomard-Rabenirina, S., Dartron, C., Falord, M., Sadikalay, S., Ducat, C., Richard, V., Breurec, S., Gros, O. and Talarmin, A. (2017). Resistance to antimicrobial drugs in different surface waters and wastewaters of Guadeloupe. *PLoS ONE*, 12(3), e0173155. <http://journals.plos.org/plosone/article/file?id=10.1371/journal.pone.0173155&type=printable>
51. Maloo, A., Borade, S., Dhawde, R., Gajbhiye, S.N. and Dastager, S.G. (2014). Occurrence and distribution of multiple antibiotic-resistant bacteria of Enterobacteriaceae family in waters of Veraval coast, India. *Environmental and Experimental Biology*, 12, 43-50. http://drs.nio.org/drs/bitstream/handle/2264/4533/Environ_Exp_Biol_12_43.pdf?sequence=1
52. Shah, S.Q.A., Cabello, F.C., L'Abée-Lund, T.M., Tomova, A., Godfrey, H.P., Buschman, A.H. and Sorum, H. (2014). Antimicrobial resistance and antimicrobial resistance genes in marine bacteria from salmon aquaculture and non-aquaculture sites. *Environmental Microbiology*, 16(5), 1310-1320. https://www.researchgate.net/publication/260681099_Antimicrobial_resistance_and_antimicrobial_resistance_genes_in_marine_bacteria_from_salmon_aquaculture_and_non-aquaculture_sites
53. Zhao, J.Y. and Dang, H. (2012). Coastal Seawater Bacteria Harbor a Large Reservoir of Plasmid-Mediated Quinolone Resistance Determinants in Jiaozhou Bay, China. *Microbial Ecology*, 64, 187-199. https://www.researchgate.net/publication/221754196_Coastal_Seawater_Bacteria_Harbor_a_Large_Reservoir_of_Plasmid-Mediated_Quinolone_Resistance_Determinants_in_Jiaozhou_Bay_China

Estafilococos dorados resistentes a la meticilina envueltos por un glóbulo blanco humano
Imagen: Instituto Nacional de Alergia y Enfermedades Infecciosas de los Estados Unidos ▶





Fotografía: Hinkle Group, con licencia CC BY-NC-ND 2.0

Nanomateriales: aplicar el principio de precaución

Nanodimensiones: nuevos descubrimientos sobre materiales conocidos

El Premio Nobel de Química de 2016 se otorgó a Jean-Pierre Sauvage, sir J. Fraser Stoddart y Bernard L. Feringa por sus tres decenios de investigación sobre el diseño y la síntesis de máquinas moleculares, que demostraron con un nanovehículo con tracción en las cuatro ruedas y motores moleculares¹. Los científicos han seguido derribando barreras y estudiando nuevas tecnologías, en este caso en pos de innovaciones que superan las limitaciones físicas y tienen innumerables aplicaciones en la vida cotidiana. Los últimos avances en nanotecnología y nanociencia han permitido obtener nanomateriales con propiedades físicas y químicas novedosas que pueden transformar el mundo^{2,3,4}.

Los nanomateriales se componen de nanopartículas, las cuales miden menos de 100 nanómetros en al menos una dimensión

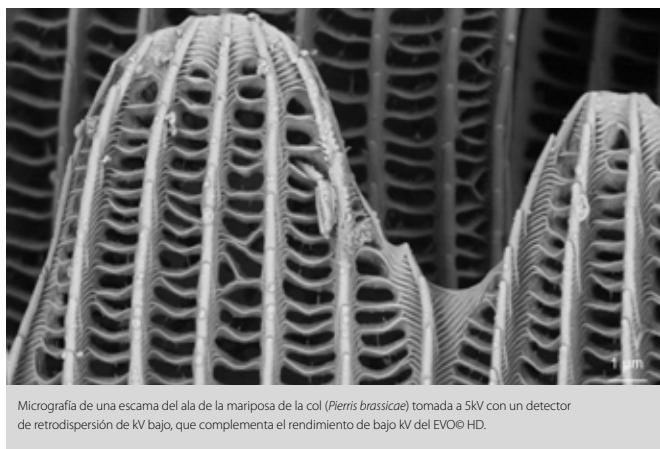
—un nanómetro es una millonésima de un metro, aproximadamente 80.000 veces más pequeño que el diámetro de un cabello humano—. Los nanomateriales no son nuevos, y no todos son sintéticos: están presentes en la naturaleza y están en todas partes. Lo que sí resulta novedoso es nuestra capacidad para manipular esos materiales comunes con un objetivo funcional.

En el mundo natural, los nanomateriales aparecen en el esqueleto del plancton marino y los corales; en el pico y las plumas de las aves; en el pelo y la matriz ósea de los animales, incluida la especie humana; en las telas de araña; en las escamas y las alas; e incluso en el papel, la seda y el algodón. También existen en la naturaleza nanomateriales inorgánicos como ciertas arcillas, las cenizas volcánicas, el hollín, el polvo interestelar y determinados minerales. Los nanomateriales naturales son fundamentalmente el resultado de una serie de procesos químicos, fotoquímicos, mecánicos, térmicos y biológicos^{5,6}.



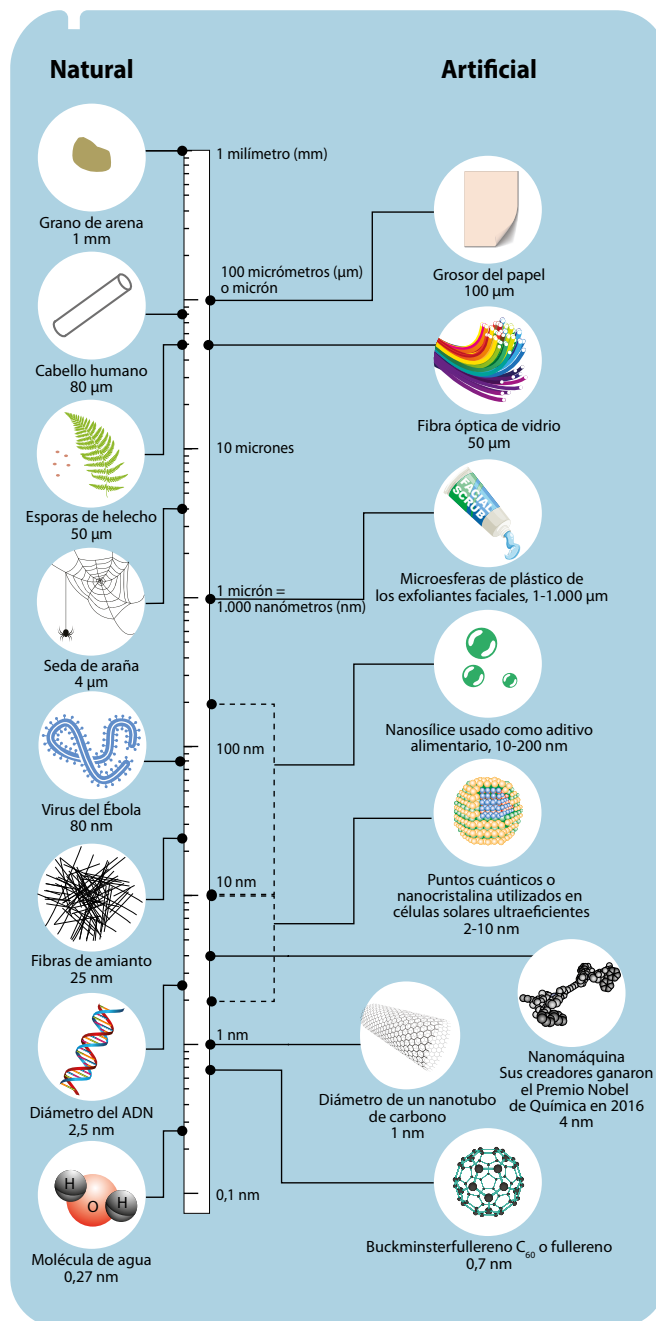
Algunos estudios señalan que ciertos métodos de preparación que se aplicaban en la medicina tradicional, entre ellos la calcinación, produjeron accidentalmente nanomateriales con sus atributos particulares^{7,8}. Asimismo, los investigadores estudian armas medievales como las hojas de acero de Damasco para poner a prueba la hipótesis de que las técnicas específicas y ritualizadas de forja y recocado explotaron la producción de nanomateriales a fin de mejorar la resistencia y flexibilidad del acero^{9,10}.

En el mundo tecnificado, los nanomateriales se diseñan y sintetizan deliberadamente con vistas a aplicaciones ópticas, electrónicas, mecánicas, médicas y enzimáticas específicas mediante un conjunto de técnicas de microfabricación. En la actualidad, los nanomateriales se utilizan ampliamente en diversos productos, por ejemplo en alimentos, cosméticos, productos de higiene personal, agentes antimicrobianos y desinfectantes, ropa y dispositivos electrónicos. Las oportunidades que podrían brindar los nanomateriales artificiales suscitan entusiasmo, pero también dudas sobre su seguridad ambiental, así como la de su producción y aplicaciones. Todavía hay lagunas importantes acerca de lo que los nanomateriales pueden hacer y sus consecuencias. Pese a que se están desarrollando muchos más nanomateriales, existe un grave riesgo de que no sepamos lo suficiente sobre los efectos a largo plazo de estos materiales en la salud humana y el medio ambiente para utilizarlos sin aplicar más salvaguardias.



Nanoescala del ala de la mariposa de la col (*Pierris brassicae*)

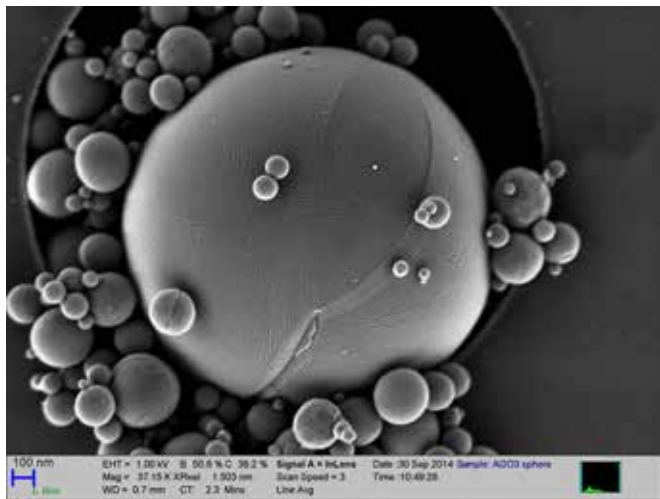
Fotografía: ZEISS Microscopy, con licencia CC BY-NC-ND 2.0



Formas, aplicaciones y efectos específicos

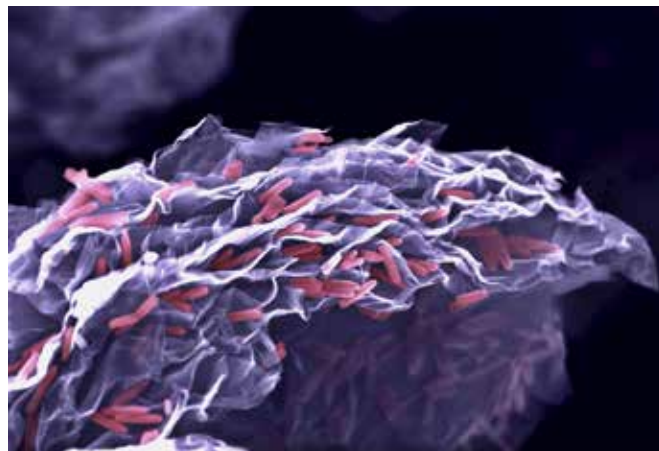
En el relato de Lewis Carroll *Alicia en el País de las Maravillas*, la joven Alicia ingiere una poción que encoge a la pequeña. Su nuevo tamaño le permite acceder a un mundo habitado por animales y personajes cuyo comportamiento extraordinario se parece muy poco al de su versión ampliada. A nanoescala, las propiedades y los comportamientos físicos, químicos, ópticos, magnéticos y eléctricos de los materiales son considerablemente diferentes de los que muestran esos mismos materiales a una escala mayor. Ello se debe al aumento notable de la relación entre superficie y volumen, así como a la aparición de efectos cuánticos a medida que un material se reduce. Al obtener una nanoversión de un material, este puede adquirir cualidades que de otro modo permanecen inertes. Por ejemplo, el oro es diamagnético —es decir, apenas responde a los campos magnéticos—, pero las nanopartículas de oro poseen propiedades magnéticas poco frecuentes¹¹.

Al igual que sus versiones corrientes, las nanoformas de metales como la plata, el titanio, el cinc y sus óxidos se utilizan en protectores solares, dentífricos, cosméticos, alimentos, pinturas y prendas de ropa¹². Debido a sus propiedades antimicrobianas, la nanoplata se incorpora con frecuencia a muchos productos de consumo tales como ropa deportiva, calzado, desodorantes, artículos de higiene personal, detergente en polvo y lavadoras.



Nanoesferas de óxido de aluminio (Al₂O₃)

Fotografía: ZEISS Microscopy, con licencia CC BY-NC-ND 2.0



Nanobarras de óxido de hierro (III) (Fe₂O₃) cultivadas en óxido de grafeno reducido para supercondensadores

Fotografía: Dilek Ozg/Engineering at Cambridge, con licencia CC BY-NC-ND 2.0

Las características funcionales de los nanodiamantes les permiten superar la barrera hematoencefálica y, de ese modo, es posible aplicar remedios específicos a múltiples tipos de tumores cancerosos^{13, 14}. Por sus propiedades de fluorescencia, ópticas y electroquímicas, los nanodiamantes se utilizan en las técnicas avanzadas de imagenología biomédica y constituyen un material prometedor con vistas a la transmisión de señales sobre la salud del funcionamiento cerebral^{15, 16}.

Las nanozimas son nanomateriales dotados de propiedades intrínsecas de tipo enzimático que se desarrollan para su aplicación en los ámbitos de la biotecnología, la imagenología biomédica, el diagnóstico de tumores y las terapias¹⁷. También tienen aplicaciones en los sistemas antiincrustantes marinos, en la eliminación de contaminantes y en la vigilancia ambiental.

Los nanomateriales de carbono se presentan en formas diversas. El grafeno, por ejemplo, es una lámina de carbono del grosor de un átomo. Los nanotubos de carbono son fundamentalmente láminas de grafeno que forman cilindros huecos continuos con un diámetro aproximado de un nanómetro¹⁸. Descubierta en 1985, el buckminsterfullereno o fullereno es una estructura esférica de 60 átomos de carbono, cuyo nombre se deriva del de R. Buckminster Fuller, conocido por su diseño de cúpulas geodésicas.

Nanomateriales

¿Qué es un nanomaterial?

Los **nanomateriales** son materiales cuya dimensión externa es **inferior a 100 nanómetros** —un nanómetro es una milmillonésima parte de un metro—.

Los **nanomateriales** pueden ser de **origen natural** o **fabricarse** mediante la modificación de la escala de materiales de uso frecuente como el carbón, los óxidos metálicos y los metales preciosos

A nanoescala, las **propiedades y comportamientos** de los materiales varían considerablemente con respecto a su forma corriente. Ello se debe al aumento de la **relación entre superficie y volumen**, así como a la aparición de **efectos cuánticos**.

Mercado mundial de nanomateriales

20,7% de crecimiento anual
Se prevé que alcance los **55.000 millones de USD** para 2022

Material en su forma corriente



Nanomaterial



A medida que el tamaño del material disminuye, aumenta la relación entre superficie y volumen, con lo que a su vez aumenta la reactividad química del material a su entorno

Sus dimensiones minúsculas y la alta relación entre superficie y volumen, que dotan a los nanomateriales artificiales de propiedades notables, también **alteran el modo en que estos interactúan** con los sistemas biológicos y se acumulan en ellos, desde organismos vivos, órganos y células hasta el nivel del ADN.

Por ejemplo, los nanotubos de carbono tienen un comportamiento y un aspecto semejantes al de las fibras de amianto. Su estructura alargada y puntiaguda es capaz de atravesar tejidos y provocar inflamación y fibrosis, con efectos muy parecidos a los de la exposición al amianto. La nanoplata puede alterar el sistema inmunitario y provocar anomalías en la expresión genética.

Efectos adversos

Al alterar las propiedades de un material mediante su nanonización, es posible que se **intensifiquen sus efectos en el medio ambiente y la salud**

Para aprovechar todo el potencial de los nanomateriales artificiales, también debemos **prever sus consecuencias**; de lo contrario, corremos el riesgo de exponernos a amenazas más graves en el futuro

Se requieren marcos normativos iterativos y flexibles que **apliquen el principio de precaución** para minimizar los riesgos y garantizar la seguridad para la salud humana y el medio ambiente

Aplicaciones

Las propiedades **mecánicas, magnéticas, eléctricas y ópticas** únicas de los nanomateriales tienen un sinfín de aplicaciones en el ámbito de la ingeniería farmacéutica, biomédica, electrónica y de materiales

La **nanoplate** se utiliza ampliamente en productos como ropa, juguetes, artículos de higiene personal y salud, dispositivos médicos y alimentos, debido a sus **propiedades antimicrobianas**

Los **nanodiamantes** se usan en la imaginaria biomédica gracias a sus propiedades luminiscentes, alta estabilidad química y biocompatibilidad

Debido a sus propiedades magnéticas, las **nanopartículas de óxido de hierro** tienen un enorme potencial para la administración específica de fármacos en el tratamiento del cáncer, las técnicas de diagnóstico por imágenes y la eliminación del arsénico del agua

El **buckminsterfullereno** o fullereno (C_{60}) es una estructura esférica de 60 átomos de carbono con aplicaciones en el tratamiento de la degeneración de huesos y cartilagos, así como de trastornos musculoesqueléticos y de la médula ósea.

El **grafeno** es una lámina de átomos de carbono del grosor de un átomo. Entre sus posibles aplicaciones se encuentran los sistemas de administración de medicamentos, el transporte molecular, la ingeniería de tejidos y los implantes.

Los **nanotubos de carbono** son una lámina de carbono de un átomo de espesor que forma un cilindro continuo. Son 117 veces más resistentes que una pieza de acero del mismo diámetro y mejores conductores que el cobre

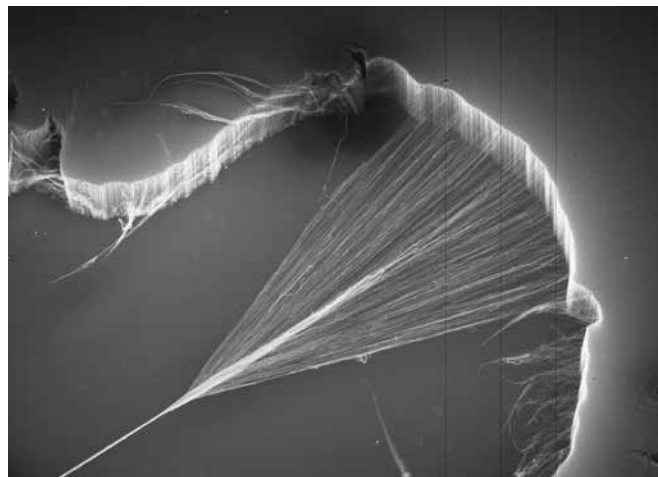
Los nanotubos de carbono se utilizan de forma generalizada en las baterías de iones de litio, las paletas ligeras de las turbinas eólicas y los cables de datos. Entre sus posibles aplicaciones están la ingeniería y regeneración de tejidos y los biomarcadores para medir el riesgo de cáncer.

Los nanotubos de carbono poseen propiedades asombrosas. Son más fuertes que el acero y mejores conductores que el cobre, y su conductividad térmica supera la del diamante. Los nanotubos de carbono se usan ampliamente en las baterías de iones de litio de las computadoras portátiles y los teléfonos móviles, las paletas ligeras de las turbinas eólicas, el casco de los barcos, los cables de datos y los biosensores y otros dispositivos médicos¹⁹. Actualmente, la capacidad mundial de producción comercial de nanotubos de carbono es superior a varios miles de toneladas anuales.

Ahora que los nanomateriales artificiales están ocupando el lugar de materiales más convencionales en los productos cotidianos, es imprescindible que conozcamos sus efectos adversos. Para aprovechar todo el potencial de los nanomateriales, también debemos prever sus consecuencias para el medio ambiente y la salud humana; de lo contrario, corremos el riesgo de exponernos a amenazas más graves en el futuro²⁰.


Al alterar las propiedades de un material mediante su nanonización, es posible que se intensifiquen sus efectos en el medio ambiente y la salud. La toxicidad de la nanoplata, por ejemplo, puede provocar argiria, con la que la piel adquiere un tono azul metálico permanente; inflamación pulmonar; y alteraciones del funcionamiento de los órganos, el sistema inmunitario y la expresión genética^{12, 21, 22}. La exposición a las nanopartículas de plata puede ocasionar una reacción al estrés y alteraciones genómicas en las bacterias, lo que contribuye al desarrollo de genes de resistencia antimicrobiana^{12, 23}. El dióxido de silicio y de titanio puede provocar inflamación pulmonar²⁴.

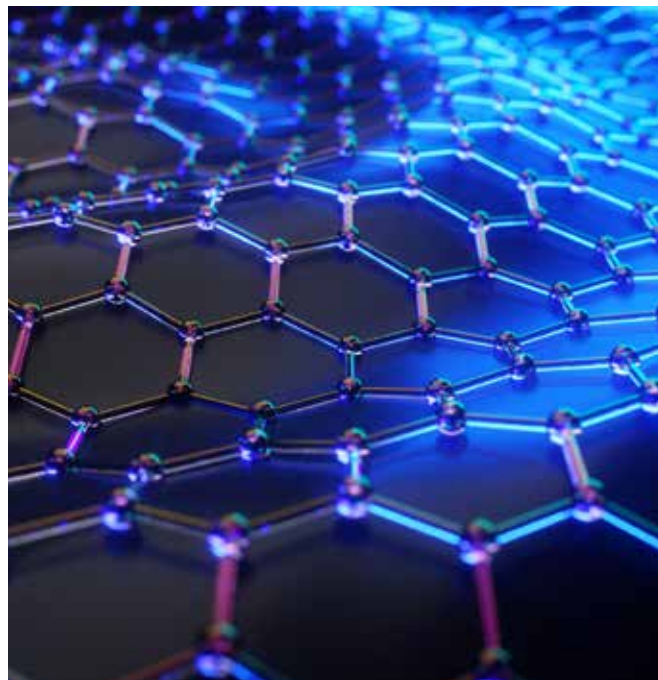
Paralelamente al descubrimiento continuo de aplicaciones biomédicas y terapéuticas novedosas de los fullerenos, incluidos los fullerenos C_{60} , esos asombrosos nanomateriales son objeto de estudio con relación a sus posibles efectos en las células, la expresión genética, el sistema inmunitario, el metabolismo y la fecundidad²⁵. Se ha demostrado que los nanotubos de carbono y las nanofibras de carbono pueden dañar los tejidos cutáneos, oculares, pulmonares y cerebrales y acumularse en el organismo^{26, 27}.



Nanotubos de carbono hilados para formar un tejido

Fotografía: Organización de Investigaciones Científicas e Industriales del Commonwealth

 **Vídeo: Grafeno, el material del futuro**



Enlace: <https://www.youtube.com/watch?v=Tfo2xShvtj0>
Fotografía: Olive Tree/Shutterstock.com

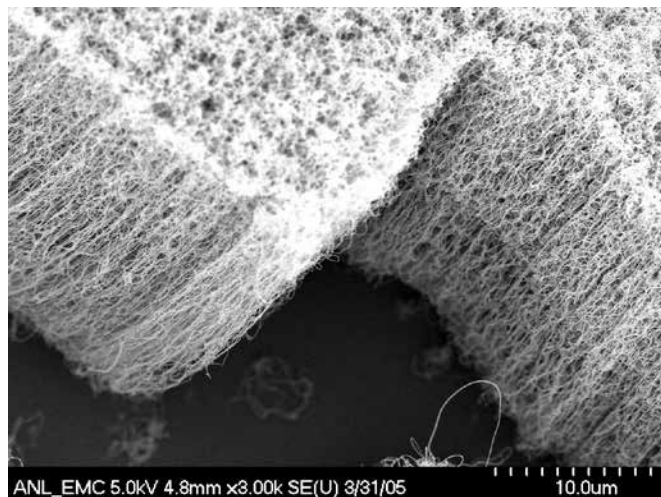
© DW Tomorrow Today



Exposición del medio ambiente y la salud a los nanomateriales artificiales

Se prevé que el mercado mundial de la nanotecnología crecerá anualmente alrededor de un 18% y alcanzará un valor de casi 174.000 millones de dólares para 2025²⁸. El incremento de la producción y el uso de nanomateriales artificiales en diversas industrias probablemente dará pie a su liberación involuntaria en el medio natural en algún momento del ciclo de vida de los productos²⁹. Por ejemplo, la nanoplata de la ropa y los tejidos se libera en el lavado; las nanopartículas de dióxido de titanio presentes en la pintura y los materiales de construcción llegan al aire y el agua debido a la erosión; y los nanotubos de carbono son transportados por el aire durante su producción o a causa del lixiviado de baterías de iones de litio desechadas y llegan al suelo y a las aguas subterráneas^{19, 30, 31}.

Para evaluar los posibles riesgos para la salud humana y ambiental, es fundamental conocer el grado de exposición a los nanomateriales artificiales y sus efectos nocivos³². En este momento disponemos de un número escaso de estudios que expliquen a dónde van a parar los nanomateriales artificiales cuando se liberan en la atmósfera, el suelo, los sedimentos, el agua y la biota y describan su conducta, concentración, transporte, distribución, transformación, biodisponibilidad, bioacumulación en las cadenas alimentarias e interacciones bioquímicas con las comunidades ecológicas^{29, 33-36}.



Nanotubos de carbono alineados

Fotografía: Junbing Yang/Argonne National Laboratory, con licencia CC BY-NC-SA 2.0

Por otra parte, cada vez se sabe más y se dispone de más pruebas sobre los efectos tóxicos de los nanomateriales. Los resultados indican que los nanomateriales pueden acarrear un conjunto amplio de efectos nocivos para la salud. Los estudios comparativos de la toxicidad de materiales conocidos, partículas y fibras con una forma y unas características químicas semejantes a las de los nanomateriales —como el amianto, las partículas ultrafinas y los humos de escape del gasóleo— aportan información sobre los posibles riesgos para la salud derivados de la exposición a los nanomateriales³⁷. Es más, la experiencia en la gestión de esas sustancias peligrosas de sobra conocidas podría resultar útil para prepararnos de manera más adecuada de cara a la gestión de los nanomateriales, que no conocemos en la misma medida.

Los nanotubos de carbono presentan características similares a las de las fibras de amianto³⁸. Ambos tienen forma de aguja y son biopersistentes. Pueden atravesar el tejido pulmonar y provocar su inflamación³⁹. Las primeras pruebas del peligro para la salud que conlleva trabajar con amianto las obtuvo, ya en 1898, Lucy Deane, una de las primeras inspectoras de trabajo de las fábricas del Reino Unido⁴⁰. Observó que el trabajo con amianto representaba «un peligro demostrado para la salud de los trabajadores [...], pues hay casos probados de lesión bronquial y pulmonar que los médicos atribuyen a la ocupación del paciente».



Fibras de amianto ampliadas 1.500 veces con un microscopio electrónico de barrido

Fotografía: Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades de los Estados Unidos/ John Wheeler/ Janice Haney Carr



Trabajadoras descansan sobre los colchones de amianto que acaban de fabricar en una fábrica de Lancashire (Reino Unido), septiembre de 1918

Fotografía: © Imperial War Museum (Q.28250)

En 1982, el documental *Alice, a Fight for Life* dio a conocer la historia de Alice Jefferson, una mujer de 47 años que contrajo mesotelioma, un cáncer letal, después de trabajar unos meses en una planta de amianto del Reino Unido²⁰. La historia de Alice tuvo una repercusión inmediata en la opinión pública británica. El Gobierno aprobó una serie de normas para la concesión de licencias que redujeron los umbrales de exposición al amianto. Poco después se aplicó un programa voluntario de etiquetado. La presión siguió intensificándose, y también se recabaron más pruebas científicas sobre la epidemia de mesotelioma provocada por la exposición al amianto⁴¹.

Hubo que esperar hasta 1999 para que en el Reino Unido se prohibieran todos los tipos de amianto: 101 años desde que empezaron a acumularse pruebas de sus efectos nocivos, un período en el que miles de personas murieron a causa de la asbestosis o cánceres conexos. Hoy en día, todavía hay iniciativas en curso para minimizar el riesgo de la exposición al amianto de los trabajadores que participan en tareas de renovación y mantenimiento de edificios que contienen amianto⁴².

Cabe preguntarse qué lecciones podemos extraer de ese siglo de lucha por conocer y hacer frente al peligro mortal que representa la exposición al amianto con vistas a la gestión y la seguridad de los nanomateriales en el futuro.

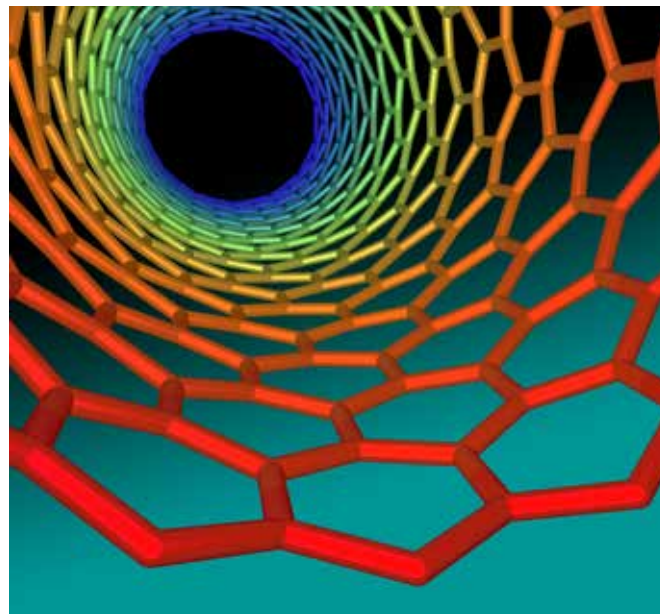
Normativas adecuadas sobre seguridad sanitaria y ambiental

La experiencia con el amianto y otros materiales peligrosos nos indica que el listado de posibles riesgos es extenso. La exposición del medio ambiente a los nanomateriales artificiales resulta inevitable. Sus efectos nocivos y persistencia podrían tener consecuencias graves en los organismos, ecosistemas y cadenas alimentarias^{32, 35, 43, 44}. La exposición oral, dérmica y pulmonar podría causar inflamación y fibrosis, alterar el metabolismo y el funcionamiento de los órganos, y provocar lesiones del ADN e inestabilidad genética^{22, 26, 45, 46}.

La industria avanza a un ritmo mucho mayor que la normativa. Debido a la falta de datos de monitoreo a largo plazo y científicos sobre los numerosos aspectos de la toxicidad y la toxicología de los nanomateriales, se ha tardado en aprobar normas específicas, a pesar de que cada vez más indicios apuntaban a la posible exposición y sus riesgos⁴⁷.



Vídeo: ¿Son los nanotubos de carbono el nuevo amianto?



Enlace: <https://www.youtube.com/watch?v=6L7xXgWcbrQ>
Fotografía: Geoff Hutchison, con licencia CC BY 2.0

© Museum of Life and Science

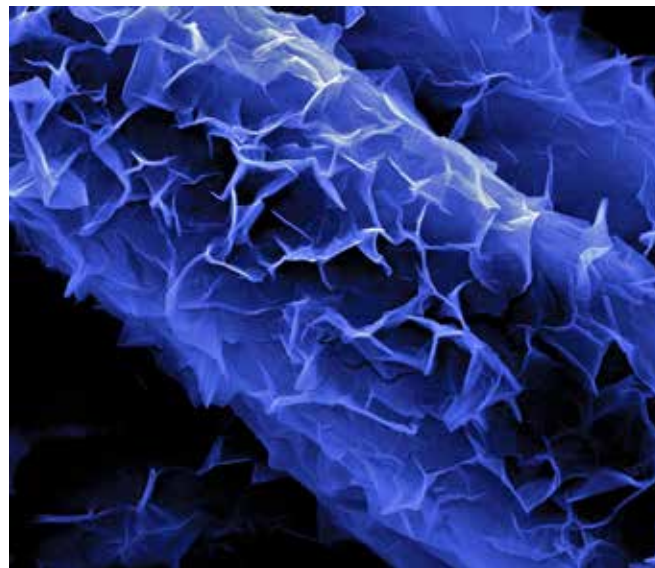


Como sucedió con el amianto, las primeras personas expuestas a los nanomateriales son trabajadores. Los primeros —y escasos— estudios que a finales de la década de 1990 y principios de la de 2000 evaluaron la exposición laboral a los nanotubos de carbono allanaron el camino para futuras investigaciones sobre los centros de trabajo y, posteriormente, la creación de una primera directriz de la Organización Internacional de Normalización (ISO) que en 2007 definió la exposición profesional a los nanoaerosoles^{48, 49}.

Basándose en estudios con animales expuestos a los nanotubos y las nanofibras de carbono, el Instituto Nacional de Seguridad y Salud Ocupacional estadounidense considera que los hallazgos referentes a la inflamación pulmonar, los granulomas y la fibrosis en los animales utilizados son lo bastante significativos para adoptar medidas conducentes a la fijación de un límite de exposición recomendado²². La Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos acometió una serie de programas plurianuales con el propósito de generar datos toxicológicos de diversos nanomateriales y modificar las directrices vigentes sobre los ensayos de los fabricantes⁵⁰.

Dada la amplia variedad de aplicaciones, los órganos reguladores han de buscar en las normativas vigentes disposiciones aplicables a los nanomateriales en los ámbitos de los productos químicos, los fármacos, los cosméticos, la alimentación, la contaminación, los desechos y el etiquetado⁵¹. No obstante, la aplicación de los marcos reguladores vigentes a los nanomateriales también plantea dificultades⁴⁷. Por ejemplo, la reducción del tamaño de un material quizá no obligue a revisar la normativa o legislación vigente, si las versiones nano y corriente de ese material constituyen la misma sustancia química. Por otra parte, algunos productos de consumo no están sujetos a los requisitos de seguridad y pueden comercializarse sin superar ninguna prueba.

En la Unión Europea, el Reglamento relativo al registro, la evaluación, la autorización y la restricción de las sustancias y preparados químicos (REACH) vela por la seguridad para la salud humana y el medio ambiente de toda sustancia química que se fabrica y comercializa en su territorio. Las empresas deben registrar las sustancias químicas que tienen intención de fabricar y comercializar y, de conformidad con las directrices específicas del REACH, demostrar que los riesgos asociados a esas sustancias pueden gestionarse de manera que se garantice la seguridad para la salud humana y el medio ambiente^{52, 53}.



Nanofibras de carbono-grafeno de estructura jerárquica

Fotografía: Ranjith Shanmugam/ZEISS Microscopy, con licencia CC BY-NC-ND 2.0

En el plano mundial, los nanomateriales son una de las cuestiones incipientes en el marco de políticas del Enfoque Estratégico para la Gestión de Productos Químicos a Nivel Internacional (SAICM), que administra el PNUMA. Este colabora con Gobiernos y partes interesadas internacionales a fin de facilitar la puesta en común de información sobre la nanotecnología y los nanomateriales artificiales y elaborar directrices técnicas y jurídicas aplicables a escala internacional en aras de una gestión racional de los nanomateriales fabricados⁵⁴.

Cuando trabajan con tecnologías novedosas, los órganos reguladores se enfrentan a una combinación de promesa, riesgo e incertidumbre⁵⁵. Para ampliar la investigación, producción y utilización de los nanomateriales artificiales en todo el mundo se requieren políticas transformadoras que fomenten la innovación y la aplicación industrial de la ingeniería verde, así como, lo que es más importante, marcos normativos iterativos y flexibles que apliquen el principio de precaución en aras de la seguridad y del logro de resultados no contaminantes. El mundo no puede permitirse ignorar las experiencias anteriores sobre los riesgos y perjuicios para la salud humana y el medio ambiente en su respuesta a las prometedoras oportunidades que brindan los nuevos materiales.

Bibliografía

- Nobel Media AB (2016). *The Nobel Prize in Chemistry 2016 - Popular Information*. Nobel Prize website. http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/2016/popular.html
- UNEP (2007). *GEO Year Book: An Overview of Our Changing Environment*. United Nations Environment Programme, Nairobi. <http://staging.unep.org/yearbook/2007/>
- UNEP (2010). *UNEP Year Book: New Science and Developments in Our Changing Environment*. United Nations Environment Programme, Nairobi. <http://staging.unep.org/yearbook/2010/>
- UNEP (2013). *UNEP Year Book: Emerging Issues in Our Global Environment*. United Nations Environment Programme, Nairobi. <http://staging.unep.org/yearbook/2013/>
- Hochella Jr., M.F., Spencer, M.G. and Jones, K.L. (2015). Nanotechnology: nature's gift or scientists' brainchild? *Environmental Science: Nano*, 2, 114-119. <http://pubs.rsc.org/en/content/articlepdf/2015/EN/C4EN00145A>
- Sharma, V.K., Filip, J., Zboril, R. and Varma, R.S. (2015). Natural inorganic nanoparticles – formation, fate and toxicity in the environment. *Chemical Society Reviews*, 44, 8410-8423. <http://pubs.rsc.org/en/content/articlepdf/2015/CS/C5CS00236B>
- Pavani, T., Venkateswara Rao, K., Chakra, Ch. S. and Prabhu, Y.T. (2015). Ayurvedic synthesis of γ -Fe₂O₃ nanoparticles and its Characterization. *International Journal of Current Engineering and Technology*, 5(1), 321-324. <http://inpressco.com/wp-content/uploads/2015/02/Paper57321-324.pdf>
- Sumithra, M., Raghavendra, Rao, P., Nagaratnam, A. and Aparna, Y. (2015). Characterization of SnO₂ Nanoparticles in the Traditionally Prepared Ayurvedic Medicine. *Materials Today: Proceeding*, 2(9), Part A., 4636-4639. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785315009074>
- Reibold, M., Paufler, P., Levin, A.A., Kochmann, W., Pätzke, N. and Meyer, D.C. (2006). Materials: Carbon nanotubes in an ancient Damascus sabre. *Nature*, 444(7117), 286. <https://www.nature.com/nature/journal/v444/n7117/pdf/444286a.pdf>
- Sanderson, K. (2006). Sharpest cut from nanotube sword. *Nature News*, 15 November 2006. <http://www.nature.com/news/2006/061113/full/news061113-11.html>
- JASRI (2012). Clarifying the hidden magnetism of gold (Au). Press Release, 23 January 2012. Japan Synchrotron Radiation Research Institute, Kouto. http://www.spring8.or.jp/en/news_publications/press_release/2012/120123_2/
- SCENIHR (2013). *Opinion on Nanosilver: safety, health and environmental effects and role in antimicrobial resistance*. The Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks of the European Union, Luxembourg. http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/emerging/docs/scenihr_o_039.pdf
- Mochalin, V.N., Shenderova, O., Ho, D. and Gogotsi, Y. (2011). The properties and applications of nanodiamonds. *Nature Nanotechnology*, 7, 11-23. <https://www.nature.com/nnano/journal/v7/n1/pdf/nnano.2011.209.pdf>
- Xi, G., Robinson, E., Mania-Farnell, B., Vanin, E.F., Shim, K.W., Takao, T., Allender, E.V., Mayanil, C.S., Soares, M.B., Ho, D. and Tomita, T. (2014). Convection-enhanced delivery of nanodiamond drug delivery platforms for intracranial tumor treatment. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine*, 10(2),381-391. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23916888>
- Bačáková, L., Brož, A., Lišková, J., Staňková, L., Potocký, S. and Kromka, A. (2016). The Application of Nanodiamond in Biotechnology and Tissue Engineering. In *Diamond and Carbon Composites and Nanocomposites*, M. Aliofkhae (ed.). InTech, Rijeka. <https://www.intechopen.com/download/pdf/51099>
- Waddington, D.E.J., Sarracanie, M., Zhang, H., Salameh, N., Glenn, D.R., Rej, E., Gaebel, T., Boele, T., Walsworth, R.L., Reilly, D.J. and Rosen, M.S. (2017). Nanodiamond-enhanced MRI via in situ hyperpolarization. *Nature Communications*, 15118. http://walsworth.physics.harvard.edu/publications/2017_Waddington_NatureComm.pdf
- Gao, L., and Yan, X. (2016). Nanozymes: an emerging field bridging nanotechnology and biology. *Science China: Life Science*, 59, 400–402. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs11427-016-5044-3.pdf>
- Aqel, A., El-Nour, K.M.M.A., Ammar, R.A.A. and Al-Warthan, A. (2010). Carbon nanotubes, science and technology part (I) structure, synthesis and characterisation. *Arabian Journal of Chemistry*, 5, 1–23. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878535210001747>
- De Volder, M.F.L., Tawfick, S. H., Baughman, R. H. and Hart, A. J. (2013). Carbon nanotubes: Present and future commercial applications. *Science*, 339(6119), 535-539. <http://science.sciencemag.org/content/339/6119/535/tab-pdf>
- EEA (2001). *Late lessons from early warnings: the precautionary principle 1896-2000*. EEA Report No. 22. European Environment Agency, Copenhagen. https://www.eea.europa.eu/publications/environmental_issue_report_2001_22/Issue_Report_No_22.pdf
- De Jong, W.H., Van Der Ven, L.T.M., Sleijffers, A., Park, M.V.D.Z, Jansen, E.H.J.M., Van Loveren, H. and Vandebriel, R.J. (2013). Systemic and immunotoxicity of silver nanoparticles in an intravenous 28 days repeated dose toxicity study in rats. *Biomaterials*, 34, 8333-8343. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0142961213007631>
- Johnston, H.J., Hutchison, G., Christensen, F.M., Peters, S., Hankin, S. and Stone, V. (2010). A review of the in vivo and in vitro toxicity of silver and gold particulates: Particle attributes and biological mechanisms responsible for the observed toxicity. *Critical Reviews in Toxicology*, 40(4), 328-346. <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.3109/10408440903453074?journalCode=itxc20>



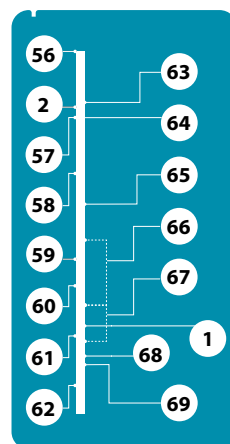
23. Graves Jr, J.L., Tajkarimi, M., Cunningham, Q., Campbell, A., Nonga, H., Harrison, S.H. and Barrick, J.E. (2015). Rapid evolution of silver nanoparticles resistance in *Escherichia coli*. *Frontiers in Genetics*, 6(42), 1-13. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4330922/pdf/fgene-06-00042.pdf>
24. Weir, A., Westerhoff, P., Fabricius, L., Hristovski, K. and von Goetz, N. (2012). Titanium dioxide nanoparticles in food and personal care products. *Environmental Science and Technology*, 46(4):2242-2250. <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es204168d>
25. Aschberger, K., Johnston, H.J., Stone, V., Aitken, R.J., Tran, C.L., Hankin, S.M., Peters, S.A. and Christensen, F.M. (2010). Review of fullerene toxicity and exposure--appraisal of a human health risk assessment, based on open literature. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 58, 455-473. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20800639>
26. NIOSH (2013). *Occupational Exposure to Carbon Nanotubes and Nanofibers*. Current Intelligence Bulletin 65. The Centers for Disease Control/The National Institute for Occupational Safety and Health, Atlanta. <https://www.cdc.gov/niosh/docs/2013-145/pdfs/2013-145.pdf>
27. Oberdörster, E. (2004). Manufactured Nanomaterials (Fullerenes, C₆₀) Induce Oxidative Stress in the Brain of Juvenile Largemouth Bass. *Environmental Health Perspectives*, 112(10), 1058-1062. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1247377/pdf/ehp0112-001058.pdf>
28. Business Wire (2016). Global Nanotechnology Market Worth USD 173.95 Billion by 2025 - Analysis, Technologies & Forecasts Report 2016-2025 - Key Vendors: Acusphere, Glonatech, Isotron - Research and Markets. *Business Wire*, 28 September 2016. <http://www.businesswire.com/news/home/20160928005566/en/Global-Nanotechnology-Market-Worth-USD-173.95-Billion>
29. Lowry, G.V., Bernhardt, E.S., Dionysiou, D.D., Pedersen, J.A., Wiesner, M.R. and Xing, B. (2010). Environmental Occurrences, Behavior, Fate, and Ecological Effects of Nanomaterials: An Introduction to the Special Series. *Journal of Environmental Quality*, 39, 1867-1874. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21284284>
30. Geranio, L., Heuberger, M. and Nowack, B. (2009). The behavior of silver nanotextiles during washing. *Environmental Science & Technology*, 43(21), 8113-8118. <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es9018332>
31. Shandilya, N., Le Bihan, O., Bressot, C. and Morgeneyer, M. (2015). Emission of Titanium Dioxide Nanoparticles from Building Materials to the Environment by Wear and Weather. *Environmental Science & Technology*, 49, 2163-2170. <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es504710p>
32. Gottschalk, F. and Nowack, B. (2011). The release of engineered nanomaterials to the environment. *Journal of Environmental Monitoring*, 13, 1145-1155. https://www.researchgate.net/profile/Bernd_Nowack/publication/50349175_The_release_of_engineered_nanomaterials_to_the_environment/links/54c75fc30cf238bb7d0a7d1a/The-release-of-engineered-nanomaterials-to-the-environment.pdf
33. Batley, G.E., Kirby, J.K. and McLaughlin, M.J. (2012). Fate and risks of nanomaterials in aquatic and terrestrial environments. *Accounts of Chemical Research*, 46(3), 854-862. https://www.researchgate.net/publication/228113803_Fate_and_Risks_of_Nanomaterials_in_Aquatic_and_Terrestrial_Environments
34. Gardea-Torresdey, J.L., Rico, C.M. and White, J.C. (2014). Trophic Transfer, Transformation, and Impact of Engineered Nanomaterials in Terrestrial Environments. *Environmental Science & Technology*, 48(5), 2526-2540. <http://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/es4050665>
35. Garner, K.L. and Keller, A.A. (2014). Emerging patterns for engineered nanomaterials in the environment: a review of fate and toxicity studies. *Journal of Nanoparticle Research*, 16, 2503. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs11051-014-2503-2.pdf>
36. Peijnenburg, W. J. G. M.; Baalousha, M.; Chen, J.; Chaudry, Q.; Von der kammer, F.; Kuhlbusch, T. A. J.; Lead, J.; Nickel, C.; Quik, J. T. K.; Renker, M.; Wang, Z.; Koelmans, A. A. A Review of the Properties and Processes Determining the Fate of Engineered Nanomaterials in the Aquatic Environment. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 45, 2084-2134. <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10643389.2015.1010430>
37. Xia, T., Li, N. and Nel, A.E. (2009). Potential Health Impact of Nanoparticles. *The Annual Review of Public Health*. 30, 137-50. <http://annualreviews.org/doi/pdf/10.1146/annurev.publhealth.031308.100155>
38. Poland, C.A., Duffin, R., Kinloch, I., Maynard, A., Wallace, W.A., Seaton, A., Stone, V., Brown, S., Macnee, W. and Donaldson K. (2008). Carbon nanotubes introduced into the abdominal cavity of mice show asbestos-like pathogenicity in a pilot study. *Nature Nanotechnology*, 3, 423-428. <http://www.nature.com/nnano/journal/v3/n7/pdf/nnano.2008.111.pdf>
39. Nagai, H. and Toyokuni, S. (2012). Differences and similarities between carbon nanotubes and asbestos fibers during mesothelial carcinogenesis: Shedding light on fiber entry mechanism. *Cancer Science*, 103(8), 1378-1390. https://www.researchgate.net/publication/224924547_Differences_and_similarities_between_carbon_nanotubes_and_asbestos_fibers_during_mesothelial_carcinogenesis_Shedding_light_on_fiber_entry_mechanism
40. Deane, L. (1898). *Report on the health of workers in asbestos and other dusty trades*. In HM Chief Inspector of Factories and Workshops, 1899, Annual Report for 1898, 171-172.
41. Peto, J., Hodgson, J.T., Matthews, F.E. and Jones, J.R. (1995). Continuing increase in mesothelioma mortality in Britain. *The Lancet*, 345(8949), 535-539. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7776771>
42. HSE (2017). Asbestos health and safety. The Health and Safety Executive website. <http://www.hse.gov.uk/asbestos/index.htm>
43. Delay, M. and Frimmel, F.H. (2012). Nanoparticles in aquatic systems. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 402(2), 583-592. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs00216-011-5443-z.pdf>

44. Du, J., Wang, S., You, H. and Zhao, X. (2013). Understanding the toxicity of carbon nanotubes in the environment is crucial to the control of nanomaterials in producing and processing and the assessment of health risk for human: A review. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 36, 451-462. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/labs/articles/23770455/>
45. Schulte, P.A., Roth, G., Hodson, L.L., Murashov, V., Hoover, M.D., Zumwalde, R., Kuempel, E.D., Geraci, C.L., Stefaniak, A.B., Castranova, V. and Howard, J. (2016). Taking stock of the occupational safety and health challenges of nanotechnology: 2000–2015. *Journal of Nanoparticle Research*, 18, 1–21. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5007006/pdf/nihms812231.pdf>
46. Trouiller, B., Reliene, R., Westbrook, A., Solaimani, P. and Schiestl, R.H. (2009). Titanium dioxide nanoparticles induce DNA damage and genetic instability in vivo in mice. *Cancer Research*, 69(22), 8784-8789. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19887611>
47. Seaton, A., Tran, L., Aitken, R. and Donaldson, K. (2010). Nanoparticles, human health hazard and regulation. *Journal of The Royal Society Interface*, 7, S119-S129. http://rsif.royalsocietypublishing.org/content/7/Suppl_1/S119.long
48. Kuhlbusch, T.A.J., Asbach, C., Fissan, H., Göhler, D. and Stintz, M. (2011). Nanoparticle exposure at nanotechnology workplaces: A review. *Particle and Fibre Toxicology*, 8(22), 1-18. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3162892/pdf/1743-8977-8-22.pdf>
49. ISO (2007). ISO/TR 27628:2007 Workplace atmospheres - Ultrafine, nanoparticle and nano-structured aerosols - Inhalation exposure characterization and assessment. International Organization for Standardization, Geneva. <https://www.iso.org/standard/44243.html>
50. OECD (2016). *Single walled carbon nanotubes (SWCNTs): Summary of the dossier*. OECD Environment, Health and Safety Publications – Series on the safety of manufactured nanomaterials No.70. The Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris. [http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=env/jm/mono\(2016\)22&doclanguage=en](http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=env/jm/mono(2016)22&doclanguage=en)
51. Charitidis, C.A., Trompeta, A.F., Vlachou, N. and Markakis, V. (2016). Risk management of engineered nanomaterials in EU-The case of carbon nanotubes and carbon nanofibers: A review. *Transactions of the Materials Research Society of Japan*, 41(1), 1-11. https://www.jstage.jst.go.jp/article/tmrj/41/1/41_1/_pdf
52. OECD (2016). *Single walled carbon nanotubes (SWCNTs): Summary of the dossier*. OECD Environment, Health and Safety Publications – Series on the safety of manufactured nanomaterials No.70. The Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris. [http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=env/jm/mono\(2016\)22&doclanguage=en](http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=env/jm/mono(2016)22&doclanguage=en)
53. OECD (2017). Alternative testing strategies in risk assessment of manufactured nanomaterials: current state of knowledge and research needs to advance their use. Series on the Safety of Manufactured Nanomaterials No. 80. The Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris. <http://www.oecd.org/>

officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=ENV/JM/MONO(2016)63&doclanguage=en

54. UN Environment (2017). Strategic Approach to International Chemicals Management website. UN Environment, Geneva. <http://www.saicm.org/>
55. Hamburg, M.A. (2012). FDA's approach to regulation of products of nanotechnology. *Science*, 336(6079), 299-300. <http://science.sciencemag.org/content/336/6079/299>

Referencias bibliográficas de los gráficos



56. Alden, A. (2017). All About Sediment Grain Size. *ThoughtCo*, 5 June 2017. <https://www.thoughtco.com/all-about-sediment-grain-size-1441194>
57. Walker, W.F., Yatskievych, G., Mickel, J.T., and Wagner, W. (2016). Fern. *Encyclopædia Britannica*, 18 October 2016. <https://www.britannica.com/plant/fern/Shape>
58. Du, N., Liu, X.Y., Narayanan, J., Li, L., Lek, M., Lim, M. and Li, Q. (2006). Design of Superior Spider Silk: From Nanostructure to Mechanical Properties. *Biophysical Journal*, 91(12), 4528-4535. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S000634950672164658>
59. Aleksandrowicz, P., Marzi, A., Biedenkopf, N., Beimforde, N., Becker, S., Hoenen, T., Feldmann, H. and Schnittler, H.J. (2011). Ebola virus enters host cells by macropinocytosis and clathrin-mediated endocytosis. *Journal of Infectious Diseases*, Supplement 3, S957-S967. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21987776>
60. WHO (2000). *Air quality guidelines for Europe—Second edition*. WHO Regional Publication, European Series No. 91. World Health Organization, Copenhagen. http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/74732/E71922.pdf



61. Nano.gov (2017). Size of the nanoscale. United States National Nanotechnology Initiative. <https://www.nano.gov/nanotech-101/what/nano-size>
62. D'Arrigo, J.S. (1978). Screening of membrane surface charges by divalent cations: an atomic representation. *American Journal of Physiology*, 235(3), C109-117. <http://bionumbers.hms.harvard.edu/bionumber.aspx?id=103723&ver=0>
63. Yes Paper (2017). Paper glossary. Yes Paper. <http://www.yes-paper.com/index.php?yespaper=yespaper-paper-glossary>
64. FOA (2015). Guide to fiber optics and premises cabling. The Fiber Optic Association. <http://www.thefoa.org/tech/ref/basic/fiber.html>
65. UNEP (2015). Plastic in cosmetics: Are we polluting the environment through our personal care? United Nations Environment Programme, Nairobi. http://apps.unep.org/redirect.php?file=/publications/pmtdocuments/-Plastic_in_cosmetics_Are_we_polluting_the_environment_through_our_personal_care_-2015Plas.pdf
66. Athinarayanan, J., Periasamy, V.S., Alsaif, M.A., Al-Warthan, A.A. and Alshatwi, A.A. (2014). Presence of nanosilica (E551) in commercial food products: TNF-mediated oxidative stress and altered cell cycle progression in human lung fibroblast cells. *Cell Biology and Toxicology*, 30, 89-100. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s10565-014-9271-8.pdf>
67. Webb, B. (2006). Quantum dots. <http://ion.chem.usu.edu/~tapaskar/Britt-Quantum%20Dots.pdf>
68. Khan, I., Saeed, K. and Khan, I. (2017). Nanoparticles: Properties, applications and toxicities. *Arabian Journal of Chemistry* (in press). <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878535217300990>
69. Locke, W. (1996). Buckminsterfullerene, C₆₀. <http://www.chm.bris.ac.uk/motm/buckyball/c60a.htm>
70. Allied Market Research (2016). Nanomaterials Market by Type (Carbon Nanotubes, Fullerenes, Graphene, Nano Titanium Dioxide, Nano Zinc Oxide, Nano Silicon Dioxide, Nano Copper Oxide, Nano Cobalt Oxide, Nano Iron Oxide, Nano Manganese Oxide, Nano Zirconium Oxide, Nano Silver, Nano Gold, Nano Nickel, Quantum Dots, Dendrimers, Nanoclay, Nanocellulose) and End-user - Global Opportunity Analysis and Industry Forecast, 2014-2022. Allied Market Research website. <https://www.alliedmarketresearch.com/nano-materials-market>
71. Nicomel, N.R., Leus, K., Folens, K., Van Der Voort, P. and Laing, G.D. (2016). Technologies for Arsenic Removal from Water: Current Status and Future Perspectives. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13(62), 1-24. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4730453/pdf/ijerph-13-00062.pdf>
72. Wu, W., Wu, Z., Yu, T., Jiang, C. and Kim, W.S. (2015). Recent progress on magnetic iron oxide nanoparticles: synthesis, surface functional strategies and biomedical applications. *Science and Technology of Advanced Materials*, 16, 023501. <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1468-6996/16/2/023501/pdf>
73. Kostarelos, K. and Novoselov, K.S. (2014). Graphene devices for life. *Nature Nanotechnology*, 9, 744-745. <http://www.nature.com/nnano/journal/v9/n10/full/nnano.2014.224.html>
74. Liu, Q., Cui, Q., Li, X.J. and Jin, L. (2014). The applications of buckminsterfullerene C₆₀ and derivatives in orthopaedic research. *Connective Tissue Research*, 55(2), 71-79. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4124742/pdf/nihms608096.pdf>
75. Chang, C.C., Hsu, I.K., Aykol, M., Hung, W.H., Chen, C.C. and Cronin, S.B. (2010). A new lower limit for the ultimate breaking strain of carbon nanotubes. *ACS Nano*, 4(9), 5095-5100. <https://pdfs.semanticscholar.org/d072/eaf8c9c9c1730bb211346ac2d1902da369fe.pdf>
76. Eatemadi, A., Daraee, H., Karimkhanloo, H., Kouhi, M., Zarghami, N., Akbarzadeh, A., Abasi, M., Hanifehpour, Y. and Joo, S.W. (2014). Carbon nanotubes: properties, synthesis, purification, and medical applications. *Nanoscale Research Letters*, 9(393), 1-13. <https://neuraldevelopment.biomedcentral.com/track/pdf/10.1186/1556-276X-9-393?site=neuraldevelopment.biomedcentral.com>





Fotografía: Brent Barnes / Shutterstock.com

Zonas marinas protegidas: obtención de beneficios para el desarrollo sostenible

El deterioro de la salud de los océanos: una demanda creciente de sus beneficios

Los océanos soportan demasiado estrés a causa de que en ellos se desarrollan demasiadas actividades humanas desde hace demasiados años. Hoy se enfrentan a una compleja combinación de efectos ambientales, sociales y económicos. La sobrepesca y otras actividades extractivas, el desarrollo del litoral, la contaminación y el turismo están deteriorando hábitats naturales esenciales y mermando la población de especies marinas a un ritmo asombroso. Tal degradación, bien documentada, se está agravando todavía más a raíz del cambio climático, debido a los efectos del aumento de las temperaturas y de la acidificación que se produce cuando los océanos absorben el dióxido de carbono de la atmósfera.

Desde 1985 han desaparecido la mitad de los arrecifes de coral del planeta¹. Solo en 2016, un tramo de más de 600 kilómetros de la Gran Barrera de Arrecifes se vio gravemente dañado a causa de la decoloración del coral². De las 600 poblaciones o subpoblaciones de peces vigiladas por los órganos de investigación internacionales, el 31% son objeto de niveles de captura insostenibles, fundamentalmente por culpa de actividades ilegales, no declaradas o no reglamentadas, y el 58% están completamente agotadas³. Las poblaciones de peces se redujeron un 49% entre 1970 y 2012, un período que dio paso a otro de breve estabilidad, pero están disminuyendo de nuevo⁴. En resumen, el ritmo al que consumimos los recursos de los océanos no permite que los ecosistemas oceánicos los repongan. Se trata de un patrón destructivo: al extraer demasiados recursos, los ecosistemas se debilitan y se recuperan con más lentitud. Cuando necesitamos más, la disponibilidad del recurso es menor, y por tanto resulta más difícil extraerlo. Así pues, dedicamos más esfuerzos y provocamos más daños. A la larga, el recurso se agota —o extingue—.

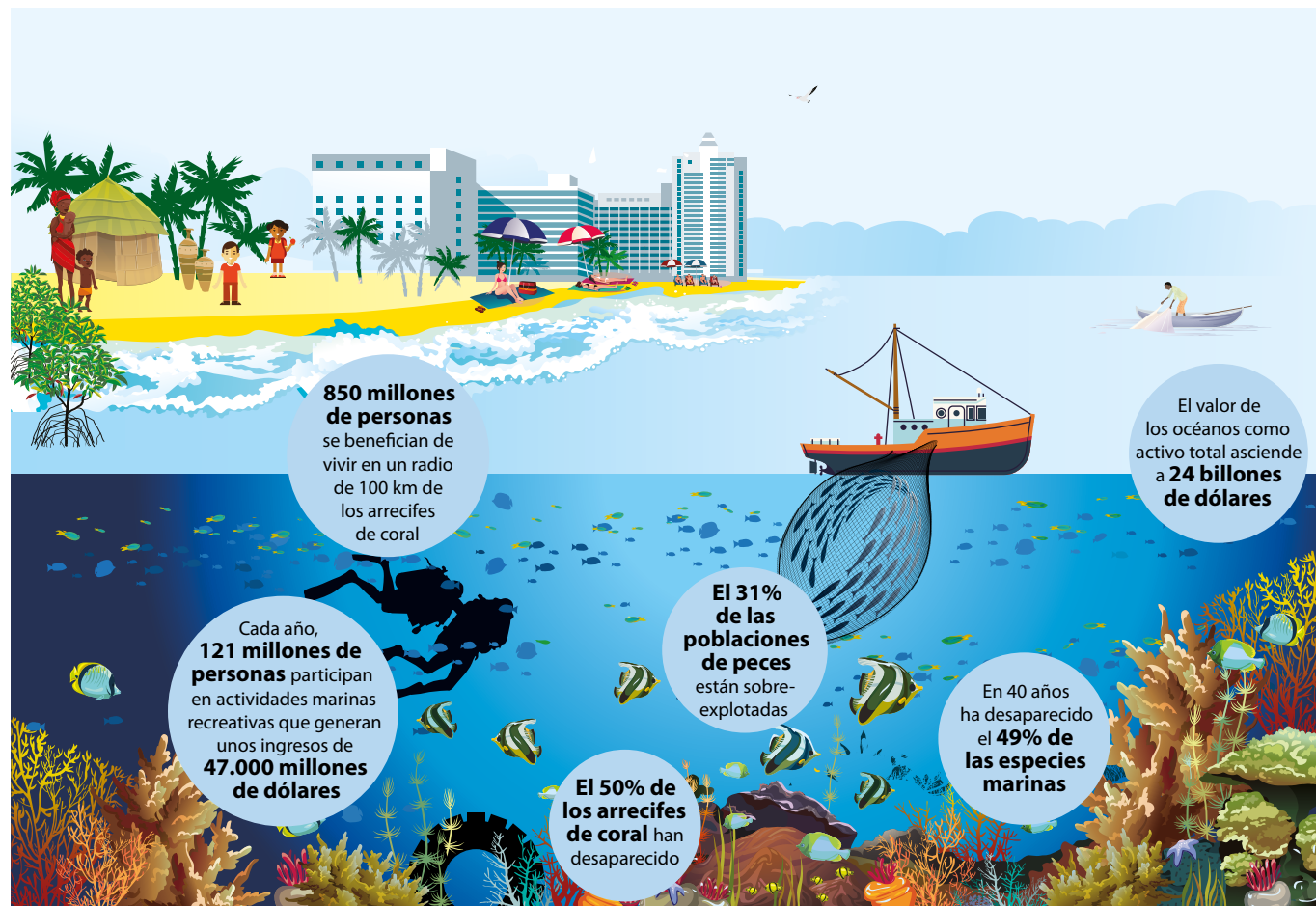


Es un patrón de autolesión social. La vida humana depende de los beneficios que los océanos reportan a la salud, el bienestar y el crecimiento económico. Los procesos oceánicos sostienen a los peces, que constituyen la fuente principal de proteínas de casi 3.000 millones de personas³. Un estudio demuestra que el valor de los océanos asciende a, al menos, 24 billones de dólares¹. Si fueran un país, los océanos serían la séptima economía del mundo.

Las zonas marinas protegidas representan una de las mejores opciones para mantener o recuperar la salud de los ecosistemas oceánicos y costeros, en especial cuando se desarrollan en el marco de un

sistema de gestión más amplio⁵⁻¹⁰. La protección de las especies, los hábitats y las funciones de los ecosistemas reporta beneficios ecológicos. Al implicar a las partes interesadas en la planificación y el reparto equitativo de los beneficios se obtienen beneficios sociales. Y la promoción de la explotación sostenible a largo plazo de los recursos naturales y los ingresos provenientes del turismo genera beneficios económicos. La repercusión combinada de esos beneficios impulsaría muchos de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, entre otros la reducción de la pobreza, la mejora de la seguridad alimentaria y la lucha contra los efectos del cambio climático.

Valores de los océanos y costas en juego



El auge de las zonas marinas protegidas

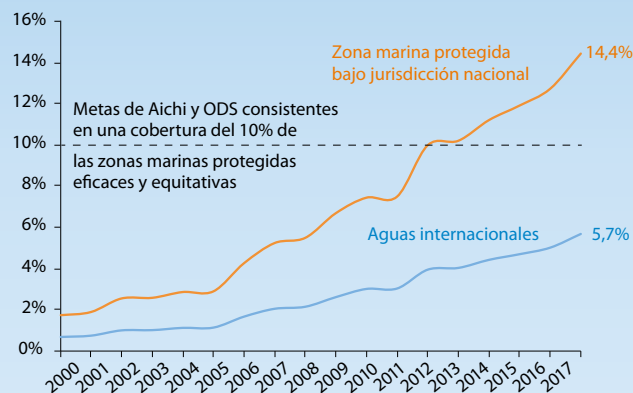
La mayoría de los países ahora coinciden en que se debe proteger al menos el 10% de las zonas litorales y marinas de aquí a 2020¹¹. Esa es una de las Metas de Aichi para la Diversidad Biológica y se plasma en la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible^{11, 12}.

La superficie protegida ya ha aumentado un 25% en los últimos 15 años¹³. En julio de 2017 se habían designado 15.292 zonas marinas protegidas, que equivalen al 5,7% de los océanos del mundo. Se calcula que el 14,4% de las zonas litorales y marinas bajo jurisdicción nacional se han declarado zonas protegidas¹³. Esta cifra indica que la meta para 2020 ya se ha alcanzado en los mares nacionales, pero la realidad es mucho más compleja. Y lo es porque la superficie física solo representa una parte del compromiso. La preocupación va en aumento ante la posibilidad de que las designaciones no sean suficientes y de que sea necesario hacer hincapié en la eficacia^{14, 15}. Algunas pruebas sugieren que la capacidad de gobernanza actual podría no bastar para impulsar la eficacia y la consecución de las metas sociales y económicas, así como las relacionadas con la conservación de la biodiversidad¹⁶. Actualmente, 45 de las 15.292 zonas designadas ocupan el 72% de la superficie marina protegida¹³. Si bien esas amplias zonas son importantes para preservar unos ecosistemas marinos aislados y vírgenes, su tamaño y su situación remota plantean dudas sobre la eficacia de las estrategias de gobernanza y la oportunidad limitada de compartir los beneficios¹⁴. Las zonas marinas protegidas han de servir para conservar la biodiversidad de manera eficaz y repartir *equitativamente* los costos y beneficios conexos. Debería hacerse hincapié tanto en la calidad como en la cantidad.

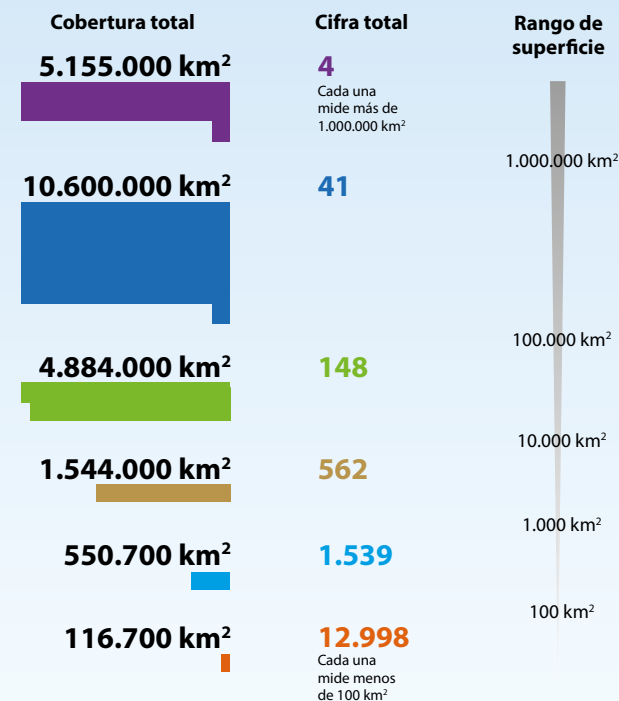
Cabe señalar que las dudas sobre la eficacia no se refieren exclusivamente a las grandes zonas marinas protegidas. Un nuevo estudio del PNUMA, «Enabling Effective and Equitable Marine Protected Areas: Guidance on combining governance approaches», analiza la gobernanza de 34 zonas protegidas de los mares nacionales¹⁶. Solo algo más de la mitad recibieron una calificación media en términos de eficacia, lo que significa que se hace frente plenamente a algunos efectos de la actividad humana, y parcialmente a otros. El resto de las zonas obtuvieron una calificación de eficacia baja, es decir, algunos efectos se abordaron de forma inadecuada o no se abordaron en absoluto. Otros estudios demuestran que en torno al 40% de las zonas marinas protegidas padecen deficiencias importantes, lo que da pie a una gobernanza endeble e ineficaz¹⁷.

Última tendencia de la cobertura mundial de las zonas marinas protegidas

Cobertura



Distribución por superficie



Fuente de los datos: Centro Mundial de Vigilancia de la Conservación del PNUMA





La mejora del sistema de gobernanza aumenta la eficacia de las zonas marinas protegidas

Para que las zonas marinas protegidas resulten verdaderamente eficaces se requiere una gobernanza sólida que influya en la conducta humana y reduzca el impacto sobre los ecosistemas. Ha de adoptarse un enfoque inclusivo que promueva un espíritu de protección y demuestre los beneficios sociales, económicos y ambientales para las comunidades de usuarios.


Dado que nuestros mares constituyen sistemas ecológicos intrincados que sustentan sistemas sociales y económicos complejos, es posible que el empeño de aumentar la eficacia de las zonas protegidas exija una gran cantidad de recursos. Entre las dificultades suelen encontrarse la falta de conocimientos, de voluntad política, de apoyo de la comunidad y de inversión económica. Con demasiada frecuencia, las zonas marinas protegidas se consideran un costo a corto plazo que hay que adelantar, en lugar de inversiones a largo plazo que reportarán notables beneficios sociales, económicos y ambientales. Cada una de ellas plantea sus propios retos, pero las probabilidades de que los usuarios de los recursos marinos infrinjan las normas y reglamentos disminuyen cuando participan en los debates y la adopción de decisiones.

Los debates sobre la protección marina tratan de determinar cuál es la forma idónea o correcta de mejorar la gobernanza, para lo cual se centran en tres enfoques. Cada uno de ellos conlleva inconvenientes. La gobernanza descendente hace hincapié en los reglamentos que imponen los Gobiernos. Puede resultar poco inclusiva para las comunidades locales y, por tanto, mermar la colaboración. La gobernanza desde la base se centra en aplicar restricciones acordadas en cada zona y que gozan de la colaboración de la población. Puede carecer de mecanismos jurídicos para imponer su cumplimiento a los usuarios externos. La gobernanza basada en el mercado pone el énfasis en iniciativas económicas que generan beneficios financieros como ofrecer a las comunidades locales medios de vida alternativos y derechos de propiedad. Este planteamiento puede obstaculizar el logro de los objetivos de conservación, al desestabilizar la cooperación local y provocar otros perjuicios ambientales.


Los estudios sobre la eficacia de las zonas marinas protegidas demuestran que centrarse en un único enfoque de gobernanza origina deficiencias que pueden poner en peligro los objetivos de conservación. En su lugar debería adoptarse un enfoque integrado que combine las funciones de los Gobiernos nacionales, las comunidades locales y los programas comerciales^{16, 18}. El peso relativo de cada una de esas funciones dependerá del comportamiento que haya que corregir y del contexto ambiental, social, económico y político más amplio.



Meta de Aichi para la Diversidad Biológica núm. 11
Para 2020, al menos el 10% de las zonas marinas y costeras, especialmente las que revisten particular importancia para la diversidad biológica y los servicios de los ecosistemas, se habrán conservado por medio de sistemas de áreas protegidas administrados de manera eficaz y equitativa, ecológicamente representativos y bien conectados, y de otras medidas de conservación eficaces basadas en áreas, y estas estarán integradas a los paisajes terrestres y marinos más amplios.



Meta 14.2 de los ODS
De aquí a 2020, gestionar y proteger sosteniblemente los ecosistemas marinos y costeros para evitar efectos adversos importantes, incluso fortaleciendo su resiliencia, y adoptar medidas para restaurarlos.



Meta 14.5
De aquí a 2020, conservar al menos el 10% de las zonas costeras y marinas, de conformidad con las leyes nacionales y el derecho internacional y sobre la base de la mejor información científica disponible.



Vídeo: La elección de las reservas marinas



Enlace: <https://www.openchannels.org/videos/how-choose-marine-reserves>
© Hugh Possingham/Jennifer McGowan, Universidad de Queensland

La combinación de los enfoques de gobernanza en la práctica

Isla de Chumbe, República Unida de Tanzania



Zona marina protegida privada:

- Financiada principalmente por iniciativas de ecoturismo
- Número elevado de trabajadores por turista para crear empleo; el 95% del personal es de la República Unida de Tanzania
- Colaboración estrecha con el Ministerio de Pesca de la República Unida de Tanzania en la aplicación de sanciones, con el apoyo de guardas, pescadores y policías de la zona

Bahía Bluefields, Jamaica



Zona marina protegida comunitaria:

- Todas las comunidades locales pertinentes participan en los debates y decisiones
- Se busca la independencia económica para mantener la zona y a la comunidad local
- El Gobierno financia patrullas que obligan a cumplir la normativa con el respaldo de la legislación estatal
- Organizaciones internacionales y locales se ocupan de la gestión financiera y operativa y facilitan especialistas para la capacitación y la formación

Parque Marino de la Gran Barrera de Arrecifes, Australia



Zona protegida de usos múltiples:

- Estrecha colaboración entre la administración federal y estatal
- Un sistema de zonificación facilita el reparto equitativo de los beneficios de los servicios de los ecosistemas
- El turismo da trabajo a más de 70.000 personas y genera unos ingresos anuales de 5.000 millones de dólares australianos
- Colaboración con las comunidades indígenas para proteger los medios de vida, la cultura y las tradiciones, por ejemplo los derechos de pesca

Pese a que cada zona protegida es única, existen factores comunes que pueden dificultar la gobernanza. Entre otros, el incremento de la demanda de los mercados pesqueros internacionales, que elevan los niveles de pesca comercial; la pobreza de las comunidades locales, que empuja a la población a pescar para sobrevivir y como medio de sustento básico; el auge del turismo, que ejerce una mayor presión para el desarrollo de infraestructura y el acceso con fines recreativos; y la migración por motivos económicos desde las zonas interiores más pobres hacia las zonas costeras en busca de oportunidades laborales o un nivel de vida más alto^{16, 18}.

Esos factores socavan los objetivos de conservación. Evidentemente, definir los objetivos durante el proceso de designación de la zona marina protegida permite entender qué se requiere específicamente para hacer frente a los conflictos e impulsar la eficacia de la zona protegida. La existencia de un marco de gobernanza puede contribuir al desarrollo y la implementación de medidas que mitiguen conductas humanas concretas. Este debería dotarse de estrategias coercitivas y

financieras que respalden los objetivos generales de la zona protegida. Al mismo tiempo, debería favorecer un reparto equitativo de los costos y beneficios, siempre con el objetivo de proteger la biodiversidad.

Los estudios de casos de zonas marinas protegidas demuestran que la combinación de enfoques de gobernanza puede resultar eficaz. El Parque Marino de la Gran Barrera de Coral de Australia sigue el modelo descendente, si bien la colaboración con las comunidades indígenas de la zona protege sus medios de vida, culturas y tradiciones; el Parque Coralino Isla de Chumbe de la República Unida de Tanzania es una zona protegida privada dedicada al ecoturismo que colabora estrechamente con el Gobierno en la aplicación de sanciones, con el apoyo de los guardas, pescadores y agentes de policía de la zona; y la Bahía Bluefields de Jamaica es una zona de conservación dirigida por la comunidad, donde el Gobierno financia patrullas que obligan a respetar la normativa con el respaldo de la legislación estatal. Cada una de esas iniciativas ha aplicado técnicas de diferentes enfoques que les han permitido adaptarse a las necesidades y condiciones locales^{16, 18}.

Gobernanza de las zonas marinas protegidas

Las zonas marinas protegidas resultan más eficaces cuando se combinan con diversos enfoques de gobernanza...

Gobernanza descendente

Se requiere la participación del Gobierno, a fin de que las leyes y otras disposiciones protejan la biodiversidad y los recursos naturales frente a la destrucción y la degradación provocada por los usuarios

Gobernanza desde la base

La participación de las comunidades locales en la toma de decisiones y el aprovechamiento de los conocimientos locales resultan fundamentales para el éxito. Se promueve la apropiación, la responsabilidad y el empoderamiento de la población de la zona

Gobernanza basada en el mercado

Los mercados son importantes porque ofrecen incentivos económicos, medios de vida alternativos compatibles y sostenibilidad financiera. Reconocer el valor económico de la biodiversidad favorece la adopción de decisiones equilibradas

¿Qué es una zona marina protegida?

Las zonas marinas protegidas adoptan formas diversas. Pese a que existen diferentes definiciones y clasificaciones, normalmente se diseñan para proteger o gestionar la biodiversidad, los ecosistemas o los recursos marinos y costeros. Se emplean tanto en el litoral como en océanos abiertos, en regiones tropicales, templadas y polares. Su administración puede basarse en distintos niveles de regulación, protección y enfoques de gestión

...para resolver los conflictos y reducir el impacto de las actividades, y

...para velar por un reparto equitativo de los costos y beneficios



Aplicación de la ley



Gestión y legislación



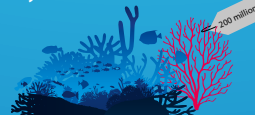
Investigación y monitoreo



Se reparten los beneficios entre usuarios locales y distantes de los recursos naturales



Se garantiza el alimento y los medios de vida



Se reparten los beneficios que reportan los ecosistemas sanos



De cara al futuro: usar las zonas protegidas para impulsar el desarrollo sostenible

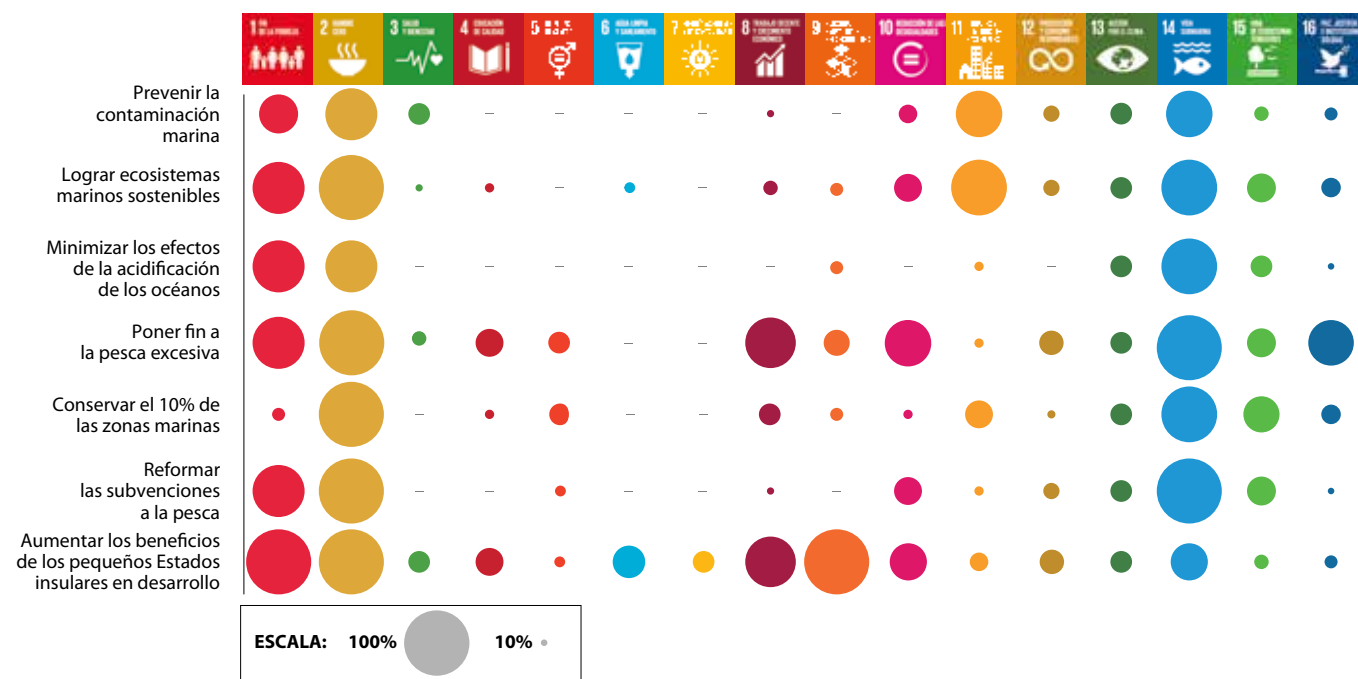
Las oportunidades que brinda la protección marina son tan inmensas como el océano. Sin embargo, se requiere un cambio de percepción para dedicar atención tanto a la calidad como a la cantidad de las zonas protegidas y para reconocer los beneficios además de los costos. Los beneficios económicos y sociales son perfectamente compatibles con la protección marina, si se rigen a partir de un conocimiento profundo del entorno.

Una hipótesis económica calcula que una red de zonas protegidas que abarque entre el 10% y el 30% de los océanos tendría un costo de entre 45.000 y 228.000 millones de dólares, pero podría generar beneficios sociales y económicos asombrosos mediante la provisión de beneficios derivados de los servicios de los ecosistemas (para la protección del litoral, la pesca, el turismo, el ocio y el almacenamiento de carbono) con un valor de entre 622.000 millones y 1,145 billones de dólares en el período comprendido entre 2015 y 2050¹⁹. Los

beneficios, por tanto, podrían ser de 3 a 20 veces superiores a los costos. Asimismo, se podría mejorar la productividad y sostenibilidad de las pesquerías y frenar el declive de la población mundial de peces. También crecería el turismo y surgirían otras oportunidades económicas²⁰. Por ejemplo, varios estudios indican que incrementar la biodiversidad de una zona protegida puede atraer hasta 36 veces más ingresos del turismo que de la pesca²¹. Además, cuando se comparan los costos y beneficios, parece que es posible generar economías de escala mediante la ampliación de las zonas marinas protegidas, teniendo en cuenta los costos de creación y operativos¹⁹.

En cualquier caso, al igual que en la gobernanza del medio marino general, no hay una solución válida para todos; es preciso analizar cada situación por separado. Ya se ha señalado que existen indicios de que el nivel de gestión y eficacia de las zonas marinas protegidas de mayor tamaño podría ser menor^{15, 17, 18}. También se ha sugerido que su rentabilidad podría disminuir a medida que aumenta la escala, pero eso depende del volumen de biodiversidad de cada zona¹⁹. En ese sentido, sería necesario efectuar un análisis de costos y

Beneficios derivados del logro de las metas del Objetivo de Desarrollo Sostenible 14: la vida submarina



Fuente: Adaptado de Singh et al. (2017)²²



beneficios en cada lugar para conocer las consecuencias sociales, económicas y ambientales. En todos los casos debería demostrarse una reducción eficaz del impacto sobre los recursos y ecosistemas marinos, así como un incremento del reparto equitativo de los beneficios.

En 2016, el Llamamiento a la Acción de Roma y la Declaración de Consenso Científico conexas establecieron una hoja de ruta encaminada a promover una zona marina protegida eficaz y equitativa con metas y medidas claras^{23, 24}. La Conferencia sobre los Océanos de las Naciones Unidas, celebrada en junio de 2017, se basó en ella al reconocer la necesidad de combinar la conservación de la biodiversidad y la explotación sostenible con una función clara en favor de la población y el reparto equitativo de los costos y beneficios²⁵.

Las iniciativas que velen por la salud de los océanos y las costas deben ofrecer una rentabilidad adecuada de la inversión en términos de fomentar un desarrollo sostenible más amplio. Un estudio reciente destaca los numerosos beneficios derivados del logro de distintas metas del Objetivo de Desarrollo Sostenible 14, relativo a los océanos, de cara a la consecución de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible²².

Estamos ante una oportunidad importante para intensificar las medidas que salvaguardan la salud de los océanos y, de ese modo, seguir disfrutando de sus beneficios. Nunca ha sido tan necesario que los países no se limiten a alcanzar las metas de cobertura máxima de las zonas marinas protegidas y sean, por ende, capaces de explotarla en favor del desarrollo sostenible.

▶ **Vídeo: Aspectos económicos y políticas de la pesca: las zonas marinas protegidas**



Enlace: www.youtube.com/watch?v=n6_JLZnQe6Y
Fotografía: pjhpix/Shutterstock.com

© Conservación Estratégica (CSF)



Fotografía: CHEN WS/Shutterstock.com

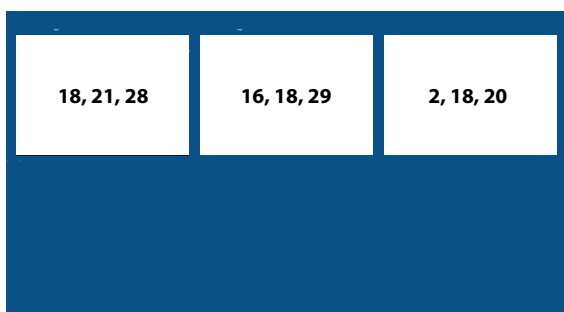
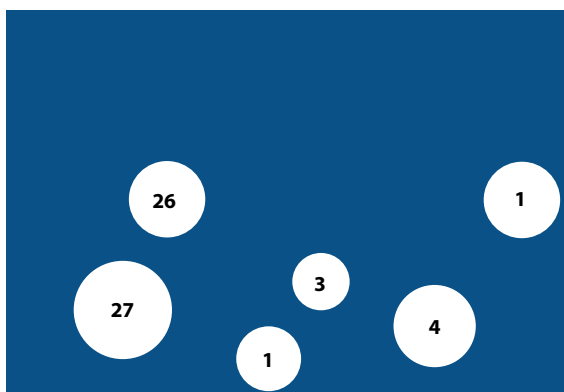
Bibliografía

- Hoegh-Guldberg, O. *et al.* (2015). Reviving the Oceans Economy: the case for action – 2015. WWF International, Gland. <https://www.worldwildlife.org/publications/reviving-the-oceans-economy-the-case-for-action-2015>
- Coralcoe (2017). Life and death after Great Barrier Reef bleaching. ARC Centre of Excellence for Coral Reef Studies website. <https://www.coralcoe.org.au/media-releases/life-and-death-after-great-barrier-reef-bleaching>
- FAO (2016). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2016: Contributing to food security and nutrition for all*. The Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. <http://www.fao.org/3/a-i5555e.pdf>
- WWF (2015). *Living Blue Planet Report: Species, habitats and human well-being*. WWF International, Gland. <https://www.worldwildlife.org/publications/living-blue-planet-report-2015>
- Ballantine, W.J. and Langlois, T.J. (2008). Marine reserves: the need for systems. In: Davenport J. *et al.* (eds) *Challenges to Marine Ecosystems. Developments in Hydrobiology, vol 202*. Springer, Dordrecht. https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-1-4020-8808-7_3
- Guidetti, P. (2006). Marine reserves reestablish lost predatory interactions and cause community changes in rocky reefs. *Ecological Applications*, 16, 963–976. [http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1890/1051-0761\(2006\)016%5B0963:MRRLP%5D2.0.CO;2#epdf](http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1890/1051-0761(2006)016%5B0963:MRRLP%5D2.0.CO;2#epdf)
- Leleu, K., Remy-Zephir, B., Grace, R. and Costello, M.J. (2012). Mapping habitats in a marine reserve showed how a 30-year trophic cascade altered ecosystem structure. *Biological Conservation*, 155, 193–201. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0006320712002443>
- Moland, E., Olsen, E.M., Knutsen, H., Garrigou, P., Espeland, S.H., Kleiven, A.R., Andre, C. and Knutsen, J.A. (2013). Lobster and cod benefit from small-scale northern marine protected areas: inference from an empirical before-after control-impact study. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 280, 20122679. <http://rspb.royalsocietypublishing.org/content/280/1754/20122679.full.pdf>
- Mumby, P.J. and Harborne, A.R. (2010). Marine reserves enhance the recovery of corals on Caribbean reefs. *PLoS One*, 5, e8657. <http://journals.plos.org/plosone/article/file?id=10.1371/journal.pone.0008657&type=printable>
- Pita, C., Pierce, G.J., Theodossiou, I. and Macpherson, K. (2011). An overview of commercial fishers' attitudes towards marine protected areas. *Hydrobiologia*, 670, 289–306. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs10750-011-0665-9.pdf>
- CBD (2017). Aichi Biodiversity Targets website. Convention on Biological Diversity, Montreal. <https://www.cbd.int/sp/targets/>
- United Nations (2017). Sustainable Development Goal 14 website. Sustainable Development Knowledge Platform. United Nations, New York. <https://sustainabledevelopment.un.org/sdg14>
- UNEP-WCMC (2017). The World Database on Protected Areas dataset. United Nations Environment Programme – World Conservation Monitoring Centre, Cambridge. <http://www.protectedplanet.net/c/world-database-on-protected-areas>
- Jones P.J.S. and De Santo, E.M. (2016). Viewpoint – Is the race for remote, very large marine protected areas (VLMPPAs) taking us down the wrong track? *Marine Policy*, 73, 231–234. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308597X1630481X?via%3Dihub>
- Watson, J.E.M., Dudley, N., Segan, D.B. and Hockings, M. (2014). The performance and potential of protected areas. *Nature*, 15, 67–73. <https://www.nature.com/nature/journal/v515/n7525/pdf/nature13947.pdf>
- UNEP (2017). Enabling effective and equitable marine protected areas: guidance on combining governance approaches. United Nations Environment, Nairobi.
- Leverington, F., Costa, K.L., Pavese, H., Lisle, A. and Hockings, M. (2010). A Global Analysis of Protected Area Management Effectiveness. *Environmental Management*, 46(5), 685–698. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs00267-010-9564-5.pdf>
- Jones, P.J.S. (2014). *Governing Marine Protected Areas: Resilience through diversity*. Routledge, London.
- Brander, L., Baulcomb, C., van der Lelij, J.A.C., Eppink, F., McVittie, A., Nijsten, L. and van Beukering, P. (2015). The benefits to people of expanding Marine Protected Areas. IVM Institute for Environmental Studies Report R-15/05. http://assets.wfn.nl/downloads/mpa_rapport_volledig.pdf
- Balmford, A., Gravestock, P., Hockley, N., McClean, C.J. and Roberts, C.M. (2004). The worldwide costs of marine protected areas. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101(26), 9694–9697. <http://www.pnas.org/content/101/26/9694.full.pdf>
- Sala E., Costello, C., Parme, J.D.B. and Sumaila, R.U. (2016). Fish Banks: An economic model to scale marine conservation. *Marine Policy*, 73, 154–161. https://www.researchgate.net/publication/306420445_Fish_banks_An_economic_model_to_scale_marine_conservation
- The 10x20 Initiative (2016). *Rome Call to Action*. Conference on Marine Protected Areas: An Urgent Imperative A Dialogue Between Scientists and Policymakers, Ministry of Foreign Affairs and International Cooperation, Rome, 7–9 March 2016. http://www.italyun.esteri.it/rappresentanza_onu/resource/resource/2016/03/rome_conference_cta_final.pdf
- The 10x20 Initiative (2016). *Scientists' Consensus Statement on Marine Protected Areas (MPAs): Characteristics, Governance, and Sustainable Financing*. Conference on Marine Protected Areas: An Urgent Imperative A Dialogue Between Scientists and Policymakers, Ministry of Foreign Affairs and International Cooperation, Rome, 7–9 March 2016. http://www.italyun.esteri.it/rappresentanza_onu/resource/resource/2016/03/scientists_consensus_statement_on_marine_protected_areas.pdf



24. United Nations (2017). Report of the United Nations Conference to Support the Implementation of Sustainable Development Goal 14: Conserve and sustainably use the oceans, seas and marine resources for sustainable Development. A/CONF.230/14. United Nations, New York. https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/15662FINAL_15_June_2017_Report_Goal_14.pdf
25. Singh, G., Cisneros-Montemayor, A., Cheung, W. and Ota, Y. (2017). *Oceans and the Sustainable Development Goals: Co-benefits, Climate Change & Social Equity*. The Nippon Foundation and University of British Columbia Nereus Program, Vancouver. <http://www.nereusprogram.org/wp-content/uploads/2017/05/SDG-Report-2017-online-version.compressed.pdf>
26. Burke, L., Reyntar, K., Spalding, M. y Perry, A. (2011). *Reefs At Risk Revisited*. Instituto de Recursos Mundiales, Washington D. C. <http://www.wri.org/publication/reefs-risk-revisited>.
27. Cisneros-Montemayor, A.M. y Sumaila, U.R. (2010). A global estimate of benefits from ecosystembased marine recreation: Potential impacts and implications for management. *Journal of Bioeconomics*, 12, 245-268. https://www.researchgate.net/publication/227346912_A_global_estimate_of_benefits_from_ecosystem-based_marine_recreation_Potential_impacts_and_implications_for_management.
28. Nordlund, L.M., Kloiber, U., Carter, E. y Riedmiller, S. (2013). Chumbe Island Coral Park—governance analysis. *Marine Policy*, 41, 110-117. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpol.2012.12.018>.
29. Thorpe, C. (2011). Governance Analysis of Bluefields Bay Special Fisheries Conservation Area, Jamaica. Tesis del programa MSc Conservation, University College de Londres. <https://www.ucl.ac.uk/mpag/docs/Bluefields.pdf>.

Referencias bibliográficas de los gráficos





*Una tormenta de arena se cierne sobre la Misión de la Unión Africana y las Naciones Unidas en Darfur septentrional, El Fasher (Sudán).
Fotografía: Operación Híbrida de la Unión Africana y las Naciones Unidas en Darfur/Adrian Dragnea*

Tormentas de arena y polvo: contener un fenómeno mundial

Invasión de arena y polvo

En 2010, las autoridades chinas activaron una alerta por contaminación de nivel cinco cuando una vasta tormenta de arena cruzó Mongolia y el norte de China en dirección hacia Beijing, cubriendo una superficie de 810.000 kilómetros cuadrados y poniendo en peligro a 250 millones de personas¹. En mayo de 2016, una serie de tormentas de arena masivas sacudieron el condado de Rigan, al sudeste del Irán, sepultando 16 poblados y causando pérdidas por valor de 9 millones de dólares². Unos meses más tarde, pesadas nubes de polvo y arena envolvieron Abu Dhabi, reduciendo la visibilidad en la ciudad a 500 metros y provocando un incremento del 20% en el número de ingresos hospitalarios de pacientes con asma^{3,4}. No son más que algunos ejemplos de las amenazas y daños causados recientemente por las tormentas de arena y polvo en muchos lugares del mundo. Existen muchos otros ejemplos a lo largo de la historia de la humanidad⁵.

Las tormentas de arena y polvo se producen cuando fuertes vientos turbulentos erosionan las partículas de arena y lodo de terrenos áridos y semiáridos y las arrojan a la atmósfera. Las tormentas de arena se desplazan a una distancia relativamente corta del suelo. Tanto el tamaño de las partículas como la velocidad del viento condicionan la distancia recorrida por cada partícula. Las tormentas de polvo levantan grandes cantidades de partículas de lodo fino y partículas de arcilla más pequeñas que alcanzan una altura superior en la atmósfera⁶.

Pueden desplazarse miles de kilómetros, a través de continentes y océanos, atraen otros contaminantes en su trayecto y acaban depositando las partículas lejos de su lugar de origen. Los vientos propagan el polvo del Sáhara —la fuente más importante— hacia el oeste hasta América, hacia el norte hasta Europa y hacia el este hasta China⁶. Las fuentes de Asia Central y China llegan a la península de Corea, el Japón, las islas del Pacífico, América del Norte y más lejos.

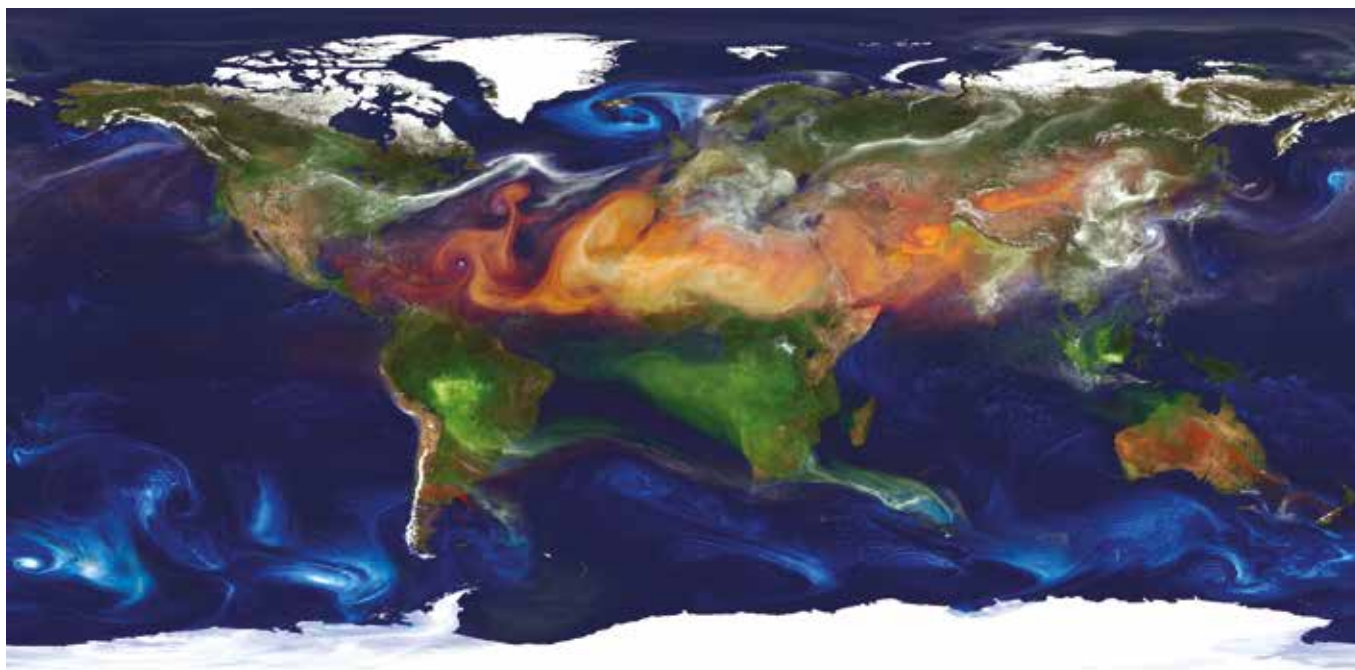


Un estudio de caso elaborado en 2003 siguió el rastro de grandes cantidades de polvo de un penacho chino originado en 1990 que alcanzó los Alpes europeos tras desplazarse más de 20.000 kilómetros en dirección este en un plazo de dos semanas⁷. El polvo desempeña un papel importante en los procesos biogeoquímicos del sistema terrestre. Constituye un material de base en amplias extensiones de suelos de loess⁸. La deposición de polvo mineral aporta nutrientes como el hierro y otros oligoelementos a los ecosistemas terrestres y marinos, los cuales favorecen la productividad primaria y el crecimiento del fitoplancton⁹. El polvo sahariano actúa como fertilizante natural en la selva amazónica, donde efectúa aportaciones de fósforo que equilibran el que se pierde en los caudales¹⁰. De manera parecida, las selvas pluviales hawaianas reciben nutrientes del polvo procedente de Asia Central¹¹. Al mismo tiempo, el polvo de África y Asia puede dañar los arrecifes de coral del Caribe¹².

El polvo también puede resultar nocivo para los animales y los seres humanos, sobre todo en las regiones áridas y semiáridas. En el caso de los humanos, la inhalación de partículas finas puede generar o agravar

el asma, la bronquitis, los enfisemas y la silicosis¹³. El polvo más fino también puede contener un conjunto de contaminantes, esporas, bacterias, hongos y alérgenos. Otros problemas frecuentes son las infecciones oculares, las irritaciones cutáneas y la fiebre del Valle. En los países del Sahel, las concentraciones de polvo procedentes del Sáhara están estrechamente ligadas a los brotes de meningitis¹⁴. La exposición crónica al polvo fino contribuye a la muerte prematura por enfermedades respiratorias y cardiovasculares, cáncer de pulmón e infección aguda de las vías respiratorias inferiores¹⁵.

Las tormentas de polvo ocasionan otros perjuicios de tipo socioeconómico¹⁶⁻¹⁹. Entre los costos a corto plazo cabe mencionar la enfermedad y muerte del ganado, la destrucción de cosechas, los daños en edificios y otra infraestructura, la interrupción del transporte y la onerosa retirada de toneladas de depósitos. Una sola tormenta puede provocar la pérdida de centenares de millones de dólares. Entre los costos a largo plazo se hallan la erosión de los suelos, la contaminación de los ecosistemas, la desertificación y problemas de salud crónicos y debilitantes.



Retrato de los aerosoles mundiales elaborado mediante un modelo de simulación GEOS-5 con una resolución de 10 kilómetros. Las emisiones de polvo se muestran en color marrón o rojo.

Fotografía: William Putman, Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA)/Centro Goddard de Vuelos Espaciales

Factores naturales, mala gestión del suelo y cambio climático

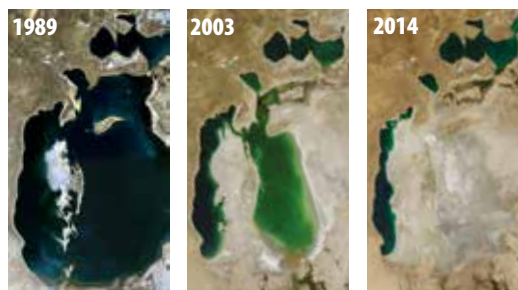
La actividad del polvo varía notablemente en relación con diversas escalas temporales —estacional, anual, decenal o pluridecenal—²⁰. Un estudio de 2012 en el que se compararon los datos satelitales obtenidos entre 2003 y 2009 con análisis de datos semejantes correspondientes a períodos anteriores indica que en los últimos tres decenios se han experimentado cambios sustanciales en las mesetas de Australia, Asia Central y los Estados Unidos; por otra parte, los eventos protagonizados por el polvo se han mantenido al mismo nivel de actividad en África Septentrional, el Oriente Medio y América del Sur^{21,22}. Otros estudios demuestran que esas regiones se ven sometidas a intensidades elevadas de polvo, debido a que las tormentas o la calima tienen su origen en causas tanto naturales como antropogénicas²¹⁻²³.

Las causas antropogénicas, responsables de aproximadamente el 25% de las emisiones de polvo mundiales, tienen su origen en los nuevos usos de la tierra que, entre otros aspectos, conllevan una extracción excesiva de agua y su desviación para la irrigación, lo que provoca la desecación de las masas de agua; y la deforestación y prácticas agrícolas insostenibles, que exponen el suelo a la erosión por acción del viento. Todos ellos son formas de degradación de la tierra. En las tierras secas, cuando se labran con demasiada frecuencia y profundidad los suelos agrícolas y se retiran los residuos de las cosechas, los suelos quedan expuestos. La retirada de setos e hileras de desechos para facilitar el acceso de equipos más grandes exacerba la erosión del viento. El sobrepastoreo de los pastizales hace que desaparezca la cobertura del suelo. Sin ella, los vientos arrastran las partículas más finas, que contienen una gran parte de los nutrientes y la materia orgánica. Las simulaciones con modelos indican que, a nivel mundial, las emisiones de polvo han aumentado desde 1900 entre un 25% y un 50% a causa del uso de la tierra y el cambio climático²⁴.

En todas las regiones propensas al polvo, la relación entre las actividades humanas y el incremento de este resulta evidente e incluso en ocasiones tangible. El lago Owens, fuente de polvo en California, se secó después de que en 1913 se empezara a desviar el agua hacia el acueducto de Los Ángeles²⁵. La Patagonia, en la mitad sur de la Argentina, se ha convertido en una importante fuente de polvo antropogénica a causa de la desertificación provocada por la ganadería insostenible²⁶. La cuenca indogangética constituye una fuente de polvo principal en Asia Meridional debido a las prácticas agrícolas intensivas²². En Australia, el desmonte de tierras y la demanda de agua para la agricultura ha alterado el régimen hidrológico y propiciado un incremento considerable del polvo²⁷. El lago Baljash, en Kazajistán, se seca con rapidez desde 1970 a raíz de la construcción de una presa aguas arriba, en el río Ili.

Retroceso del mar de Aral entre 2000 y 2013

Tras decenios de desviación de agua a gran escala, el mar de Aral se ha secado y convertido en una fuente activa de polvo



Imágenes
1989 - Servicio de la Cubierta Vegetal Mundial de la Universidad de Maryland
2003 - Jacques Desclotres, NASA/Centro Goddard de Vuelos Espaciales
2014 - Jesse Allen, Observatorio de la Tierra de la NASA

Por último, el desvío de agua a gran escala durante decenios de los principales ríos de la región —Sir Daria y Amu Daria— con miras a programas amplios de irrigación ha reducido el caudal que llega al mar de Aral, lo que ha provocado la desecación y desertificación de la región²⁸. Zonas enormes de la cuenca del mar de Aral son actualmente fuentes activas de polvo nocivo contaminado con los residuos persistentes de los fertilizantes artificiales y plaguicidas cuyo uso se prohibió hace decenios²⁹.

El cambio climático antropogénico impulsa de manera notable la generación de polvo, que se suma al que se produce de forma natural y a causa de una gestión poco racional de la tierra. Es probable que muchas de las regiones polvorrientas de hoy sigan secándose y contribuyan a la generación de más polvo atmosférico. Entre ellas se encuentran la mayoría de las zonas mediterráneas de África y Europa, el norte del Sáhara, Asia Occidental, Asia Central, el sudoeste de los Estados Unidos y el sur de Australia^{30,31}. A su vez, el aumento de polvo en la atmósfera puede repercutir en el sistema climático. Es posible que altere el equilibrio radiativo de la Tierra y de ese modo intensifique las sequías en las zonas áridas³². Por otra parte, el polvo podría provocar un aumento de las precipitaciones en algunas regiones, al formar nubes³³.

Así pues, las tormentas de arena y polvo se relacionan con un conjunto de temas ambientales y de desarrollo de importancia nacional, regional y continental. El cambio climático antropogénico agravará las consecuencias de decenios de gestión insostenible de la tierra y los recursos hídricos en regiones que generan tormentas de arena y polvo. Esta amenaza puede mitigarse si se adoptan medidas eficaces con rapidez.

Fuentes y efectos de las tormentas de arena y polvo

Los nuevos usos de la tierra, por ejemplo la agricultura, la desviación de agua y la deforestación, generan el **25% del polvo mundial**

Desde 1990, las emisiones de polvo han aumentado entre un **25% y un 50%** debido a las actividades humanas

Las tormentas de arena y polvo son habituales en las **zonas áridas y semiáridas**

A medida que **cambia el clima**, la mayor variabilidad y los fenómenos meteorológicos extremos agravan el riesgo de las tormentas de polvo

Las **iniciativas de recuperación ecológica** ayudan a reducir la frecuencia y gravedad de las tormentas de polvo en cada zona

Las tormentas de arena y polvo contienen **partículas de una amplia gama de tamaños**

Las tormentas de arena y polvo se producen cuando fuertes vientos turbulentos erosionan y arrastran las partículas de arena y lodo de terrenos áridos

La inhalación de partículas menores de **10 micrones** —una centésima de milímetro— provoca enfermedades cardíacas y pulmonares

Es probable que las **regiones áridas** se vuelvan más secas y padezcan más tormentas de polvo, incluidas ciertas zonas **mediterráneas de Europa y África, el norte del Sáhara, Asia Central y Occidental, el sudoeste de los Estados Unidos y el sur de Australia**

En las tormentas de polvo, la concentración de polvo es de **entre 100 y 1.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$**

Las tormentas de polvo arrastran un conjunto de **contaminantes, esporas, hongos, bacterias y alérgenos**. El polvo arrastrado desde el desierto del Sáhara puede provocar un brote de meningitis en el Sahel.

En 1993, una tormenta de polvo en el noroeste de China mató a casi **120.000 cabezas de ganado**, arruinó **373.333 hectáreas de cultivos** y sepultó más de 2.000 km de acequias de riego

Durante una tormenta de polvo en el Irán, en enero de 2017, la concentración de partículas finas superó los **10.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$**

Las tormentas de polvo dañan los cultivos, matan al ganado y erosionan suelos fértiles

La calidad del aire establecida por la OMS en relación con la concentración de partículas finas es igual o menor a **50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$**

Una sola tormenta de polvo puede provocar la pérdida de **centenares de millones de dólares**



Reducir los daños haciendo hincapié en escalas más pequeñas

A corto y mediano plazo, en aras de su eficacia, las iniciativas dirigidas a reducir la amenaza de las tormentas de arena y polvo deberían centrarse en las estrategias de protección³⁴. Por supuesto, los sistemas de alerta temprana y los procedimientos de reducción de desastres son componentes fundamentales de la preparación, por lo que los programas regionales se están adaptando para mejorar tales servicios. Entre los procedimientos que hacen frente en tiempo real a las tormentas de arena y polvo se encuentran la comunicación consultiva para los servicios públicos; el cierre de escuelas, aeropuertos, estaciones de tren y carreteras; y los servicios de urgencia hospitalarios.

La preparación comienza con la concienciación de la ciudadanía sobre los riesgos que representan las tormentas de arena y polvo a través de las escuelas, los medios de comunicación y las redes sociales, y la telecomunicación. En la preparación también deberían incluirse técnicas para la protección física de activos valiosos, por ejemplo mediante la colocación o construcción de barreras a barlovento de las zonas pobladas y elementos de infraestructura básicos, a fin de favorecer que el polvo se deposite fuera de esas zonas. Algunas medidas, como la orientación de las carreteras y la eliminación de obstáculos, permiten canalizar los vientos dominantes y alejar su carga de los emplazamientos que requieren protección.

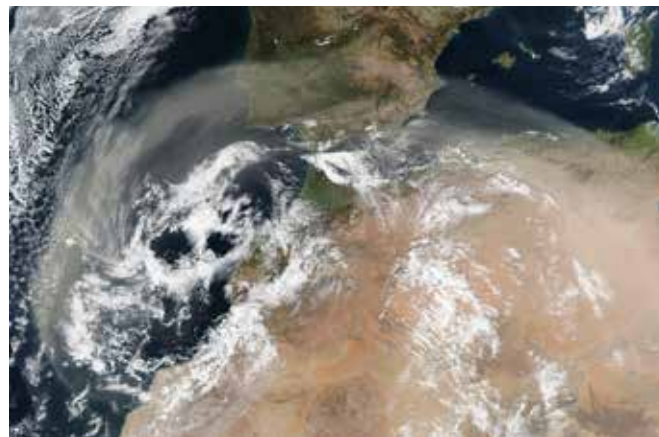
▶ Vídeo: La ambiciosa «Gran Muralla Verde» de África



Enlace: https://www.youtube.com/watch?v=jj_nRHg-0l4

Fotografía: Trabajo del suelo en el Senegal, Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias/Milo Mitchell, con licencia CC BY-NC-ND 2.0

© TIME



Un penacho de polvo se dirige desde el norte de África hacia Europa y el océano Atlántico, 21 de febrero de 2017

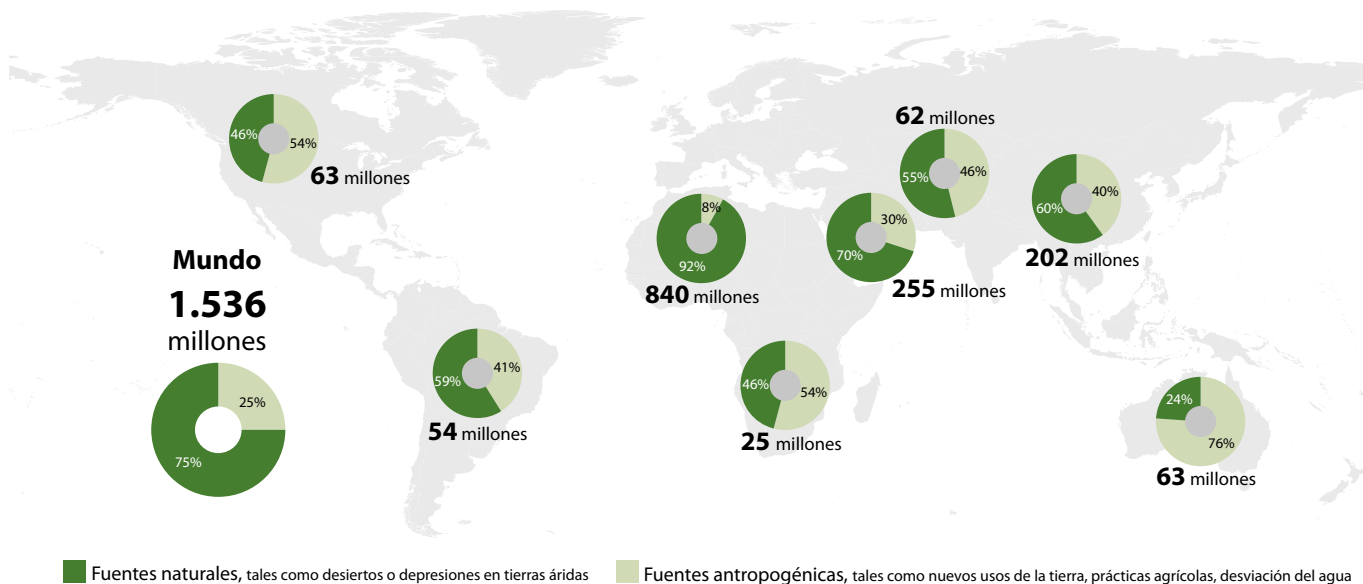
Fotografía: Fotografía de la NASA tomada por Jeff Schmaltz, Respuesta Rápida del Sistema de Datos e Información del Sistema de Observación de la Tierra del servicio de observación casi en tiempo real de la tierra y la atmósfera (LANCE)

A mediano y largo plazo, la reducción de la amenaza de las tormentas de arena y polvo debería centrarse en estrategias preventivas que promuevan una gestión sostenible de la tierra y el agua en distintos parajes. En su alcance tienen cabida las tierras agrícolas, los pastizales, los desiertos y las zonas urbanas. Este tipo de estrategias deberían integrarse en medidas para la adaptación al cambio climático y su mitigación, así como encaminadas a conservar la diversidad biológica. Esas estrategias integradas fundamentales presentan actualmente deficiencias en numerosas regiones vulnerables³⁴.

El programa para la creación de tres cinturones de protección en el norte de China, lo que se conoce como «la Gran Muralla Verde», es una iniciativa integrada que se puso en marcha en 1978, después de decenios de explotación insostenible de los recursos naturales, con el objetivo de hacer frente a la erosión desenfrenada del suelo, la cual agravaba otros problemas con inundaciones y tormentas de polvo que abarcaban grandes extensiones. Los resultados de las investigaciones y las experiencias anteriores apuntan a que hacer hincapié en las medidas que dan resultado a nivel comunitario y local, con especies vegetales autóctonas ya adaptadas a determinados lugares, reporta beneficios cuando esas medidas se vinculan entre sí y se amplían³⁵. Tales hallazgos revigorizan el énfasis en medidas que promueven servicios de los ecosistemas como la producción alimentaria, el secuestro del carbono, la retención de agua del suelo, la mitigación de las inundaciones y la provisión de un hábitat para la biodiversidad que preserve el capital natural y prevenga las tormentas de arena y polvo³⁶. A raíz del programa



Fuentes de las emisiones de polvo (toneladas/año)



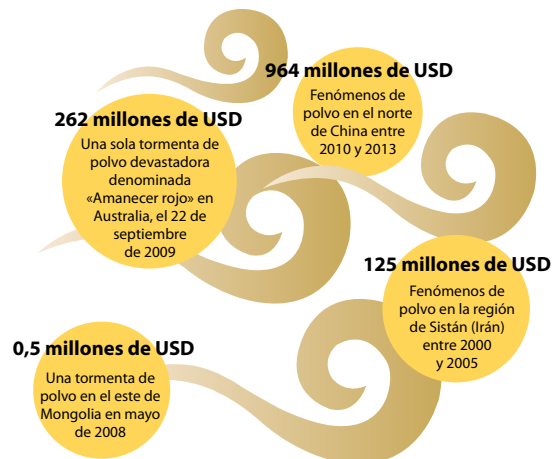
Fuente de los datos: Ginoux et al. (2012)²²

de la Gran Muralla Verde se observan mejoras de calidad en el índice de vegetación circundante, y se deduce que la iniciativa ha resultado eficaz para reducir la intensidad de las tormentas de polvo, una vez que se contabiliza la influencia del cambio climático y las presiones humanas^{37,38}. En el desierto de Kubuqi, en la Mongolia interior, las inversiones públicas, privadas y comunitarias para plantar especies autóctonas de árboles, arbustos y hierba en más de 5.000 kilómetros cuadrados de terreno desértico redujeron la frecuencia de las tormentas de polvo y los daños conexos en los hogares y la infraestructura³⁹.

En África, la Iniciativa de la Gran Muralla Verde del Sáhara y el Sahel también ha obtenido resultados al trabajar a escala local y comunitaria⁴⁰. La iniciativa, cuyo ideal se centraba inicialmente en la plantación de árboles, ha evolucionado para dar cabida a otras cuestiones más amplias del desarrollo sostenible. En el Senegal se plantaron en primer lugar más de 270 kilómetros cuadrados de árboles autóctonos que no requieren irrigación; posteriormente, otras plantas y animales regresaron y están restaurando el ecosistema. Distintas comunidades de Mauritania, el Chad, el Níger, Etiopía y Nigeria han puesto en marcha la instalación de huertas cada vez más importantes en el límite de las tierras áridas, las cuales brindan a los jóvenes empleo y motivos para no migrar. Al igual que en los casos anteriores, el éxito de esos proyectos se basa en una

cuidada selección de las especies vegetales, que han de adaptarse bien a las condiciones de cada zona, ser acordes con la disponibilidad de recursos hídricos y resultar familiares a la población local que a la larga se ocupará de la restauración y el paisaje⁴¹.

Pérdidas económicas provocadas por las tormentas de arena y polvo



Ayuda multilateral para reducir los daños causados por las tormentas de arena y polvo

Las estrategias integradas que hacen frente a los riesgos de las tormentas de arena y polvo plasman las recomendaciones referentes a la contención de la degradación del suelo, la pérdida de la biodiversidad terrestre y las amenazas del cambio climático que figuran en los tres Convenios de Río: la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (UNCCD), el Convenio sobre la Diversidad Biológica y la Convención Marco sobre el Cambio Climático. Con el respaldo de la UNCCD, Asia Occidental y Asia Nororiental han elaborado planes de acción regionales sobre las tormentas de arena y polvo; el plan de Asia Nororiental está en pleno funcionamiento⁴².

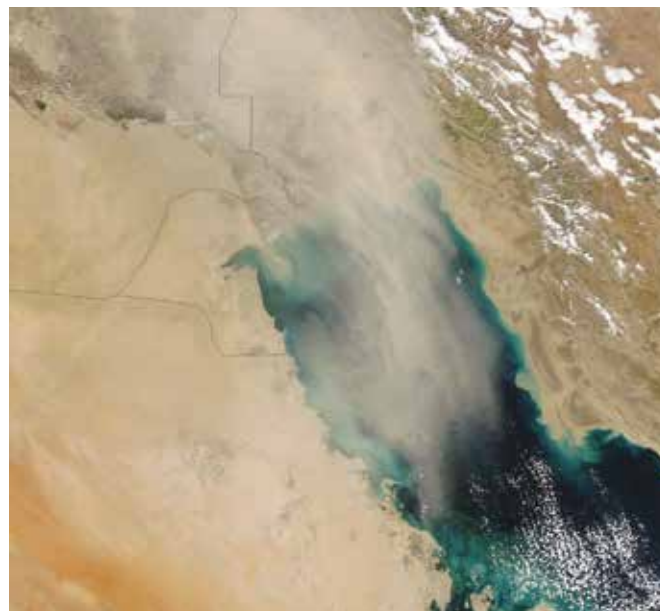
Todos los Convenios de Río apoyan que las iniciativas de ordenación de la tierra y los recursos hídricos se desarrollen en colaboración con las instituciones multilaterales y los organismos pertinentes. La unidad internacional con respecto a estas cuestiones cristaliza en los Objetivos de Desarrollo Sostenible —especialmente en los Objetivos 1, 2, 5, 13 y 15— que abordan la integridad y la gestión del suelo y los recursos hídricos, y concretamente en la

▶ **Vídeo: Luchar contra la desertificación: pastores chinos tratan de convertir el desierto en un oasis**



Enlace: <https://www.youtube.com/watch?v=gITXPUrYYJ0>
 Fotografía: Prevención de la desertificación en Ningxia (China), Bert van Dijk, con licencia CC BY-NC-SA 2.0

© CCTV English



Una tormenta de polvo sobre el golfo Pérsico, 19 de febrero de 2017

Fotografía: Fotografía de la NASA tomada por Jeff Schmaltz, Respuesta Rápida del Sistema de Datos e Información del Sistema de Observación de la Tierra del servicio de observación casi en tiempo real de la tierra y la atmósfera (LANCE)

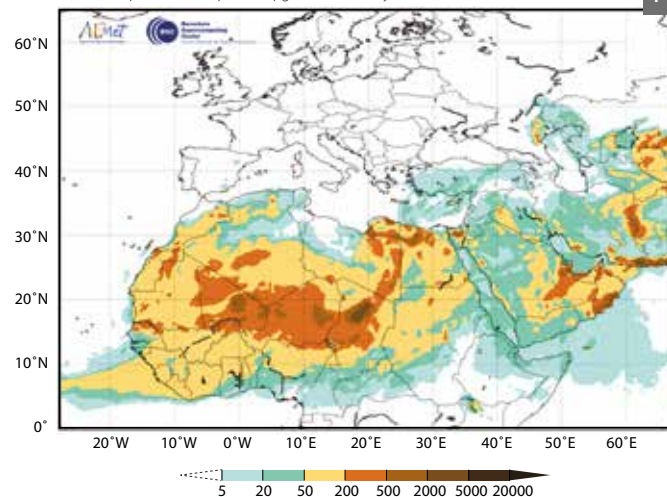
meta. 15.3: «De aquí a 2030, luchar contra la desertificación, rehabilitar las tierras y los suelos degradados, incluidas las tierras afectadas por la desertificación, la sequía y las inundaciones, y procurar lograr un mundo con efecto neutro en la degradación de las tierras». Los marcos, acuerdos y planes de acción regionales —por ejemplo, el Plan Regional Maestro para la Prevención y el Control de las Tormentas de Arena y Polvo en Asia Nororiental— y los planes de acción nacionales —como los exigidos por la UNCCD— también establecen políticas conducentes a reducir las amenazas de las tormentas de arena y polvo.

La Organización Meteorológica Mundial ha puesto en marcha el Sistema de evaluación y asesoramiento para avisos de tormentas de polvo y arena con vistas a aumentar la capacidad de los países para pronosticar de forma temprana y precisa las tormentas de arena y polvo, observarlas, informar acerca de ellas y facilitar conocimientos a los usuarios⁴³. El sistema ofrece pronósticos mundiales y regionales sobre la amenaza del polvo y ha creado centros regionales en América, Asia, y África Septentrional, el Oriente Medio y Europa⁴⁴.

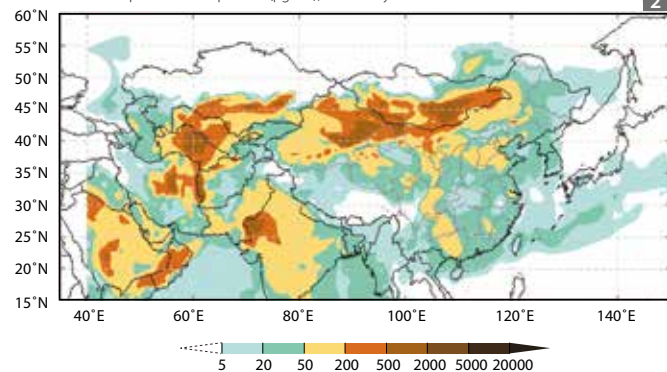


Pronóstico en línea sobre la concentración de polvo proporcionada por los centros regionales del Sistema de evaluación y asesoramiento para avisos de tormentas de polvo y arena de la Organización Meteorológica Mundial

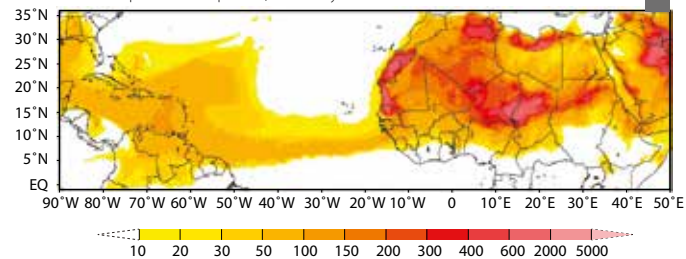
Concentración de polvo en la superficie ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), 18 de mayo de 2017



Concentración de polvo en la superficie ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), 18 de mayo de 2017



Concentración de polvo en la superficie, 21 de mayo de 2017



Las iniciativas de ordenación integrada de la tierra y los recursos hídricos dan cabida a las actividades agrícolas; asimismo, la Organización para la Alimentación y la Agricultura promueve la agricultura de conservación con el propósito de hacer frente a las amenazas que se ciernen sobre las regiones áridas. En 1992, una red denominada Reseña Mundial de Enfoques y Tecnologías de la Conservación (WOCAT) empezó a recopilar información de especialistas en las prácticas de agricultura de conservación y ordenación sostenible de la tierra. En 2014, la red adquirió la forma de consorcio y fue reconocida por la UNCCD como fuente recomendada de datos sobre mejores prácticas. En 2017, la WOCAT cuenta con más de 2.000 usuarios registrados, más de 60 instituciones participantes y unas 30 iniciativas nacionales y regionales⁴⁵.

La agricultura es responsable de casi el 70% de todas las extracciones de agua dulce⁴⁶. La agricultura de conservación también promueve prácticas de uso de los recursos hídricos que previenen su escasez y la desertificación y reducen la formación de tormentas de arena y polvo. El Grupo de Recursos Hídricos 2030 ha recopilado estudios de casos de todo el mundo sobre soluciones disponibles, reproducibles y prácticas para la gestión hídrica. Esas soluciones se han recogido en el catálogo en línea «Managing Water Use in Scarce Environments» («gestionar el uso del agua en entornos de escasez»), concebido para alentar la acción y la utilización por parte de los responsables de las políticas y decisiones⁴⁷. Muchas de las soluciones son claramente pertinentes de cara a la reducción de las tormentas de arena y polvo.

Por último, es necesario mejorar la integración y coordinación internacional de las investigaciones a fin de paliar una serie de dudas fundamentales sobre la interacción del polvo con los procesos biogeoquímicos y los sistemas climáticos mundiales; optimizar los métodos de monitoreo, predicción y alerta temprana; evaluar los efectos económicos y el costo de las tormentas de arena y polvo y las medidas de mitigación conexas; y aumentar la eficacia de las medidas antes y después de las intervenciones y durante estas.

1 Centro para África Septentrional, Oriente Medio y Europa Central
<https://sds-was.aemet.es/>

2 Centro para Asia del Sistema de evaluación y asesoramiento para avisos de tormentas de polvo y arena de la Organización Meteorológica Mundial
http://eng.nmc.cn/sds_was.asian_rc/

3 Centro Regional Panamericano
<http://sds-was.cimh.edu.bb/>

Bibliografía

1. BBC (2010). China sandstorm leaves Beijing shrouded in orange dust. *BBC*, 20 March 2010. <http://news.bbc.co.uk/2/hi/asia-pacific/8577806.stm>
2. Tehran Times (2016). Sand storm buries 16 villages in southeastern Iran. *Tehran Times*, 18 May 2016. <http://www.tehrantimes.com/news/402617/Sand-storm-buries-16-villages-in-southeastern-Iran>
3. Emirates 24/7 News (2016). NCMS warns of active winds, low visibility. *Emirates 24/7 News*, 4 August 2016. <http://www.emirates247.com/news/emirates/ncms-warns-of-active-winds-low-visibility-2016-08-04-1.637979>
4. The National (2016). Asthma attacks on the rise in UAE as winds whip up sand and dust. *The National*, 19 July 2016. <http://inbusiness.ae/2016/07/19/asthma-attacks-on-the-rise-in-uae-as-winds-whip-up-sand-and-dust>
5. McLeman, R., Dupre, J., Berrang Ford, L., Ford, J., Gajewski, K. and Marchildon, G. (2014). What We Learned from the Dust Bowl: Lessons in Science, Policy, and Adaptation. *Population and Environment*, 35, 417–440. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24829518>
6. Goudie, A.S. and Middleton, N.J. (2006). *Desert Dust in the Global System*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg
7. Grousset, F.E., Ginoux, P. and Bory, A. (2003). Case study of a Chinese dust plume reaching the French Alps. *Geophysical Research Letters*, 30(6), 1277. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2002GL016833/full>
8. Pye, K. (1987). *Aeolian dust and dust deposits*. Academic Press, London
9. Wang, F., Zhao, X., Gerlein-Safdi, C., Mu, Y., Wang, D. and Lu, Q. (2017). Global sources, emissions, transport and deposition of dust and sand and their effects on the climate and environment: a review. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 11, 13. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11783-017-0904-z>
10. Yu, H., Chin, M., Yuan, T., Bian, H., Remer, L.A., Prospero, J.M., Omar, A., Winker, D., Yang, Y., Zhang, Y., Zhang, Z. and Zhao, C. (2015). The fertilizing role of African dust in the Amazon rainforest: A first multiyear assessment based on data from Cloud–Aerosol Lidar and Infrared Pathfinder Satellite Observations. *Geophysical Research Letters*, 42, 1984–1991. https://www.researchgate.net/publication/272754426_The_Fertilizing_Role_of_African_Dust_in_the_Amazon_Rainforest_A_First_Multiyear_Assessment_Based_on_CALIPSO_Lidar_Observations
11. Chadwick, O.A., Derry, L.A., Vitousek, P.M., Huebert, B.J. and Hedin, L.O. (1999). Changing sources of nutrients during four million years of ecosystem development. *Nature*, 397, 491–497. <http://www.nature.com/nature/journal/v397/n6719/pdf/397491a0.pdf>
12. Garrison, V.H., Shinn, E.A., Foreman, W.T., Griffin, D.W., Holmes, C.W., Kellogg, C.A., Majewski, M.S., Richardson, L.L., Ritchie, K.B. and Smith, G.W. (2003). African and Asian dust: from desert soils to coral reefs. *BioScience*, 53, 469–480. <https://academic.oup.com/bioscience/article/53/5/469/241414/African-and-Asian-Dust-From-Desert-Soils-to-Coral>
13. Derbyshire, E. (2007). Natural minerogenic dust and human health. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 36, 73–77. https://www.wou.edu/las/phycsi/taylor/g473/med_geo/derbyshire_2007.pdf
14. García-Pando, C.P., Stanton, M.C., Diggle, P.J., Trzaska, S., Miller, R.L., Perlwitz, J.P., Baldasano, J.M., Cuevas, E., Ceccato, P., Yaka, P. and Thomson, M.C. (2014). Soil dust aerosols and wind as predictors of seasonal meningitis incidence in Niger. *Environmental Health Perspectives*, 122(7), 679–686. <https://ehp.niehs.nih.gov/wp-content/uploads/122/7/ehp.1306640.pdf>
15. WHO (2013). *Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP Project*. World Health Organization Regional Office for Europe, Copenhagen. http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0020/182432/e96762-final.pdf
16. Tozer, P. and Leys, J. (2013). Dust storms – what do they really cost? *The Rangeland Journal*, 35, 131–142. <http://www.publish.csiro.au/rj/pdf/RJ12085>
17. Miri, A., Ahmadi, H., Ekhtesasi, M.R., Panjehkeh, N. and Ghanbari, A. (2009). Environmental and socio-economic impacts of dust storms in Sistan Region, Iran. *International Journal of Environmental Studies*, 66(3), 343–355. <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00207230902720170?journalCode=genv20>
18. Almasi, A., Mousavi, A.R., Bakhshi, S. and Namdari, F. (2014). Dust storms and environmental health impacts. *Journal of Middle East Applied Science and Technology*, 8, 353–356. https://www.researchgate.net/publication/271211840_Dust_storms_and_environmental_health_impacts
19. Stefanski, R. and Sivakumar, M.V.K. (2009). Impacts of Sand and Dust Storms on Agriculture and Potential Agricultural Applications of a SDSWS. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 7(1), 012016. <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1307/7/1/012016/pdf>
20. Shao, Y., Klose, M. and Wyrwoll, K.H. (2013). Recent global dust trend and connections to climate forcing. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118, 1–12. https://www.researchgate.net/publication/263182073_Recent_global_dust_trend_and_connections_to_climate_forcing_GLOBAL_DUST_TREND
21. Prospero, J.M., Ginoux, P., Torres, O., Nicholson, S.E. and Gill, T.E. (2002). Environmental characterization of global sources of atmospheric soil dust identified with the Nimbus 7 Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) absorbing aerosol product. *Reviews of Geophysics*, 40, 2–31. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2000RG000095/full>
22. Ginoux, P., Prospero, J.M., Gill, T.E., Hsu, N.C. and Zhao, M. (2012). Global-scale attribution of anthropogenic and natural dust sources and their emission rates based on MODIS Deep Blue aerosol products. *Reviews of Geophysics*, 50. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2012RG000388/epdf>
23. Stanelle, T., Bey, I., Raddatz, T., Reick, C. and Tegen, I. (2014). Anthropogenically induced changes in twentieth century mineral dust burden and the associated impact on radiative forcing. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 119, 526–546. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/2014JD022062/epdf>

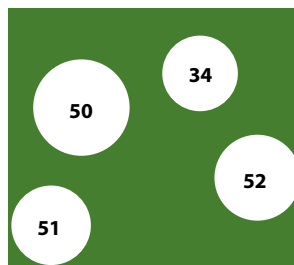
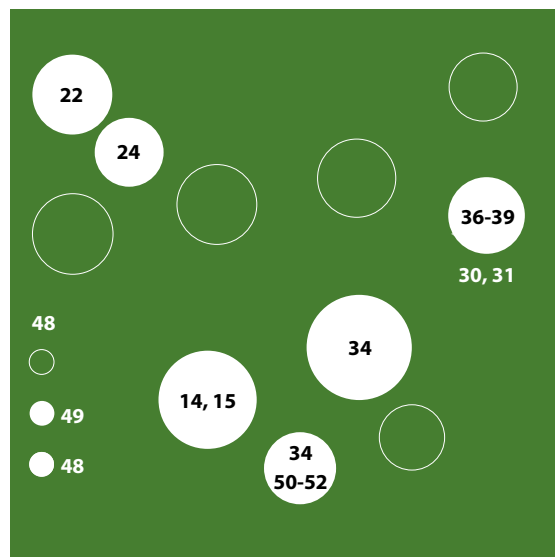


24. Mahowald, N.M., Kloster, S., Engelstaedter, S., Moore, J.K., Mukhopadhyay, S., McConnell, J.R., Albani, S., Doney, S.C., Bhattacharya, A., Curran, M.A.J. and Flanner, M.G. (2010). Observed 20th century desert dust variability: impact on climate and biogeochemistry. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 10, 10875–10893. https://www.mpimet.mpg.de/fileadmin/staff/klostersilvia/Mahowald_et_al_ACPD_2010.pdf
25. Gill, T.E. (1996). Eolian sediments generated by anthropogenic disturbance of playas: Human impacts on the geomorphic system and geomorphic impacts on the human system. *Geomorphology*, 17, 207–228. https://www.researchgate.net/publication/222233193_Eolian_sediments_generated_by_anthropogenic_disturbance_of_playas_Human_impacts_on_the_geomorphic_system_and_geomorphic_impacts_on_the_human_system
26. McConnell, J.R., Aristarain, A.J., Banta, J.R., Edwards, P.R. and Simões, J.C. (2007). 20th-Century doubling in dust archived in an Antarctic Peninsula ice core parallels climate change and desertification in South America. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(14), 5743–5748. <http://www.pnas.org/content/104/14/5743.full.pdf>
27. Marx, S.K., Kamber, B.S., McGowan, H.A. and Denholm, J. (2011). Holocene dust deposition rates in Australia's Murray-Darling Basin record the interplay between aridity and the position of the mid-latitude westerlies. *Quaternary Science Reviews*, 30(23), 3290–3305. https://www.researchgate.net/publication/232391398_Holocene_dust_deposition_rates_in_Australia's_Murray-Darling_Basin_record_the_interplay_between_aridity_and_the_position_of_the_mid-latitude_westerlies
28. Groll, M., Opp, C. and Aslanov, I. (2012). Spatial and temporal distribution of the dust deposition in Central Asia – results from a long term monitoring program. *Aeolian Research*, 9, 49–62. https://www.researchgate.net/publication/257708671_Spatial_and_temporal_distribution_of_the_dust_deposition_in_Central_Asia_-_results_from_a_long_term_monitoring_program
29. Ataniyazova, O.A. (2003). *Health and ecological consequences of the Aral Sea crisis*. In the 3rd World Water Forum, Regional Cooperation in Shared Water Resources in Central Asia, Kyoto, March 18 2003, Panel III: Environmental Issues in the Aral Sea Basin. http://www.cae.utexas.edu/prof/mckinney/ce385d/papers/atanizaova_wwf3.pdf
30. Christensen, J.H., Hewitson, B., Busuoiu, A., Chen, A., Gao, X., Held, I., Jones, R., Kolli, R.K., Kwon, W.-T., Laprise, R., Magaña Rueda, V., Mearns, L., Menéndez, C.G., Räisänen, J., Rinke, A., Sarr, A. and Whetton, P. (2007). Regional Climate Projections. In *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. <https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter11.pdf>
31. IPCC (2013). Summary for Policymakers. In *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_TS_FINAL.pdf
32. Han, Y., Dai, X., Fang, X., Chen, Y. and Kang, F. (2008). Dust aerosols: a possible accelerant for an increasingly arid climate in North China. *Journal of Arid Environments*, 72(8), 1476–1489. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140196308000372>
33. Twohy, C. H., Kreidenweis, S. M., Eidhammer, T., Browell, E. V., Heymsfield, A. J., Bansemer, A. R., Anderson, B. E., Chen, G., Ismail, S., DeMott, P. J. and Van den Heever, S. C. (2009). Saharan dust particles nucleate droplets in eastern Atlantic clouds. *Geophysical Research Letters*, 36, L01807. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2008GL035846/epdf>
34. UNEP, WMO and UNCCD (2016). *Global Assessment of Sand and Dust Storms*. United Nations Environment Programme, Nairobi. https://onlive.unep.org/media/docs/assessments/global_assessment_of_sand_and_dust_storms.pdf
35. Xu, J. (2011). China's new forests aren't as green as they seem: impressive reports of increased forest cover mask a focus on non-native tree crops that could damage the ecosystem. *Nature*, 477(7365), 371–372. <http://www.nature.com/news/2011/110921/full/477371a.html>
36. Ouyang, Z., Zheng, H., Xiao, Y., Polasky, S., Liu, J., Xu, W., Wang, Q., Zhang, L., Xiao, Y., Rao, E. and Jiang, L. (2016). Improvements in ecosystem services from investments in natural capital. *Science*, 352(6292), 1455–1459. http://csis.msu.edu/sites/csis.msu.edu/files/Ecosystems_China_2016.pdf
37. Tan, M. and Li, X. (2015). Does the Green Great Wall effectively decrease dust storm intensity in China? A study based on NOAA NDVI and weather station data. *Land Use Policy*, 43, 42–47. https://www.researchgate.net/publication/268692474_Does_the_Green_Great_Wall_effectively_decrease_dust_storm_intensity_in_China_A_study_based_on_NOAA_NDVI_and_weather_station_data
38. Viña, A., McConnell, W.J., Yang, H., Xu, Z. and Liu, J. (2016). Effects of conservation policy on China's forest recovery. *Science advances*, 2(3), e1500965. <http://advances.sciencemag.org/content/2/3/e1500965.full>
39. UNEP (2015). Review of the Kubuqi Ecological Restoration Project: A Desert Green Economy Pilot Initiative. United Nations Environment Programme, Nairobi. http://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/8652/-Review_of_the_Kubuqi_Ecological_Restoration_Project_A_Desert_Green_Economy_Pilot_Initiative-2015Review_of_the_Kubuqi_Ecological_Restoration_Project..pdf?sequence=2&isAllowed=y

40. UNCCD (2017). Great Green Wall. United Nations Convention to Combat Desertification Secretariat, Bonn. <http://www.greatgreenwall.org/great-green-wall/>
41. Sacande, M. and Berrahmouni, N. (2016). Community participation and ecological criteria for selecting species and restoring natural capital with native species in the Sahel. *Restoration Ecology*, 24(4), 479-488. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/rec.12337/abstract>
42. UNCCD (2005). *A Master Plan for Regional Cooperation for the Prevention and Control of Dust and Sandstorms*. The Regional Master Plan for the Prevention and Control of Dust and Sandstorms in North East Asia Volume 1. United Nations Convention to Combat Desertification Secretariat, Bonn. http://www.unccd.int/Lists/SiteDocumentLibrary/Publications/dustsandstorms_northeastasia.pdf
43. WMO (2015). *Sand and Dust Storm Warning Advisory and Assessment System (SDS-WAS): Science and Implementation Plan 2015-2020*. World Weather Research Programme Report 2015-5. World Meteorological Organization, Geneva. https://www.wmo.int/pages/prog/arep/wwrp/new/documents/Final_WWRP_2015_5_SDS_IP.pdf
44. WMO (2017). Sand and Dust Storm Warnings website. World Meteorological Organization, Geneva. <https://public.wmo.int/en/ourmandate/focus-areas/environment/sand-and-dust-storm/sand-and-dust-storm-warnings>
45. WOCAT SLM (2017). The Global Database on Sustainable Land Management of the World Overview of Conservation Approaches and Technologies website. University of Bern, Berne. <https://qcat.wocat.net/en/wocat/>
46. FAO (2016). AQUASTAT website. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. http://www.fao.org/nr/water/aquastat/water_use/index.stm
47. 2030 WRG (2015). The 2030 Water Resources Group website. <https://www.waterscarcitysolutions.org/#>

Referencias bibliográficas de los gráficos

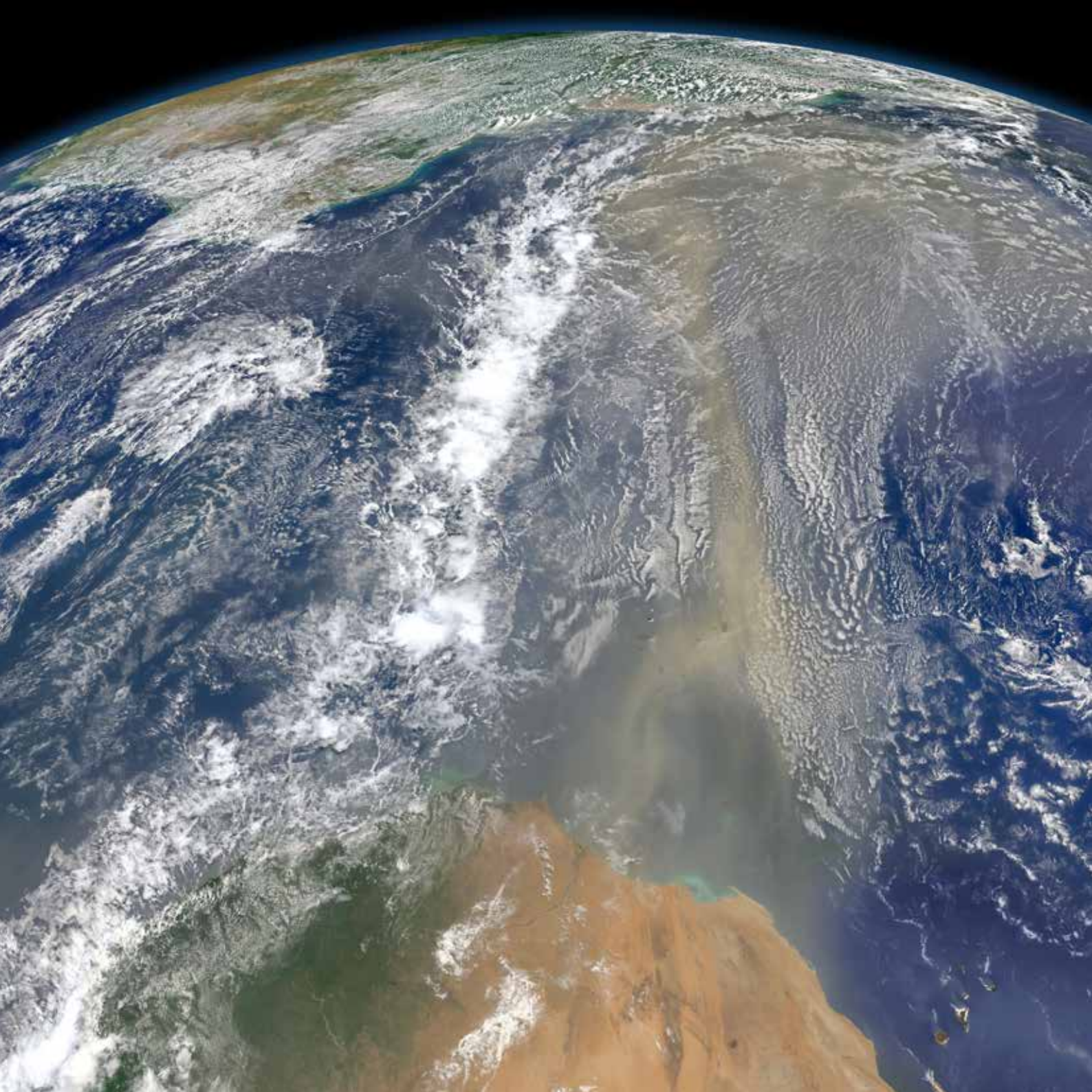
48. WHO (2006). *WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide - Global update 2005*. Summary of risk assessment. World Health Organization, Geneva. http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/69477/1/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_eng.pdf
49. Financial Tribune (2017). Dust Storms Slam Khuzestan Again. *Financial Tribune*, 29 January 2017. <https://financialtribune.com/articles/environment/58374/dust-storms-slam-khuzestan-again>
50. Tozer, P. and Leys, J. (2013). Dust storms - what do they really cost? *The Rangeland Journal*, 35, 131-142. <http://www.publish.csiro.au/rj/pdf/RJ12085>



51. Jugder, D., Shinoda, M., Sugimoto, N., Matsui, I., Nishikawa, M., Park, S-U, Chun, Y-S. and Park, M-S. (2011). Spatial and temporal variations of dust concentrations in the Gobi Desert of Mongolia. *Global and Planetary Change*, 78, 14-22. https://www.researchgate.net/publication/241100103_Spatial_and_temporal_variations_of_dust_concentrations_in_the_Gobi_Desert_of_Mongolia
52. Miri, A., Ahmadi, H., Ekhtesasi, M.R., Panjehkeh, N. and Ghanbari, A. (2009). Environmental and socio-economic impacts of dust storms in Sistan Region, Iran. *International Journal of Environmental Studies*, 66, 343-355. <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00207230902720170?journalCode=genv20>

Un penacho de polvo se dirige desde el oeste de África hacia la cuenca del Amazonas y el golfo de México, 25 de junio de 2014. Al menos 40 millones de toneladas de polvo sahariano alcanzan la cuenca del Amazonas cada año. 

Fotografía: Norman Kuring/Grupo OceanColor de la NASA





Asentamiento informal de Enkanini, Cabo Occidental (Sudáfrica)
Fotografía: MrNovel/Shutterstock.com

Soluciones solares: reducir la disparidad energética de los asentamientos sin conexión a la red

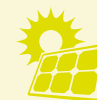
La población urbana sin conexión a la red

El acceso a la electricidad es fundamental para el desarrollo sostenible y necesario para las tareas domésticas básicas¹. La falta de electricidad puede obstaculizar la productividad, limitar las oportunidades de generación de ingresos e imposibilitar la mejora de las condiciones de vida. Casi 1.100 millones de personas en todo el mundo todavía viven sin electricidad, y otros 1.000 millones se conectan a redes eléctricas poco fiables e inestables^{2,3}.

Pese a que en los últimos años se ha progresado ampliamente en relación con el aumento de la electrificación con conexión a la red en países como la India y Nigeria, las proyecciones indican que de aquí a 2030 aún podría haber casi 780 millones de personas sin conexión a la red². Por tanto, se requieren enfoques novedosos y sostenibles sobre el suministro de electricidad que vayan más allá de las normas establecidas con vistas a alcanzar el Objetivo de

Desarrollo Sostenible consistente en garantizar para 2030 el acceso a una energía asequible, fiable, sostenible y moderna para todos.

Las zonas rurales son las más necesitadas de soluciones energéticas independientes de la red, aunque también ha de reconocerse el problema de acceso a la electricidad a que hacen frente los residentes en las zonas urbanas. Aproximadamente el 48% de la población de los países en desarrollo vive en ciudades, una cifra que podría llegar al 63% de aquí a 2050⁴. Casi una cuarta parte de la población urbana reside en diversos tipos de asentamientos informales, y el porcentaje es mucho más alto en las ciudades de África, Asia y América Latina, que crecen con rapidez. La creciente demanda de infraestructura y servicios básicos —vivienda adecuada, agua potable y saneamiento, y energías asequibles y seguras como la electricidad— suele superar las capacidades de las ciudades para satisfacer las necesidades de todos sus habitantes.



La provisión de servicios básicos a los asentamientos urbanos ilegales representa un desafío notable que varía en función del modo en que el gobierno municipal determina quién tiene derecho al suministro de los servicios urbanos oficiales. En el caso del acceso a la electricidad, entre las dificultades cabe mencionar los derechos sobre la tierra, el reconocimiento de una ocupación legal por parte de las autoridades, la renuencia de las partes interesadas a tomar parte, el precio de los servicios, la rentabilidad de la inversión de los proveedores de electricidad, y la distancia a la red y otra infraestructura necesaria⁵.

Carecer de la propiedad jurídica del terreno donde se asienta una chabola o una casa puede hacer que se rechace la solicitud de conexión oficial al servicio eléctrico local o nacional⁶. Los proveedores de electricidad tienen dudas sobre la rentabilidad de prestar servicio a esas comunidades: primero, por la elevada tasa de impago de las obligaciones financieras; segundo, por el bajo índice de consumo eléctrico. Ambas cuestiones se relacionan con los ingresos bajos e inestables de los miembros de tales comunidades^{5,6}.

El peligro de incendio representa una amenaza importante en los asentamientos informales, debido a la alta densidad de población, la proximidad de las estructuras y viviendas y el uso habitual de lámparas de keroseno o parafina, velas y otras fuentes de energía de llama abierta^{7,8}. Esos riesgos y la contaminación del aire interior deberían

convencer a diversas partes interesadas de que es recomendable proveer a las comunidades de instalaciones eléctricas⁹⁻¹¹. Sin embargo, una vez que se instalan algunas conexiones, con frecuencia aparecen numerosas conexiones ilegales y sobrecargadas que acarrearán riesgos considerables para la seguridad de los asentamientos informales, normalmente en forma de peligro de incendio, pero también de electrocución. Las encuestas realizadas en Sudáfrica indican que en algunos asentamientos informales más del 30% de la población utiliza una conexión ilegal como fuente de electricidad principal⁵.

Incluso cuando se establece una conexión a la red, el suministro de energía puede resultar poco fiable. En algunos países en desarrollo, hogares que disponen de conexiones a la red desde hace mucho tiempo deben adaptarse a apagones periódicos, para lo que han de programar el bombeo de agua y la recarga de baterías en los períodos en que el suministro es más fiable¹². Incluso los países desarrollados sufren cortes, a veces totales cuando llega una tormenta intensa, pero también en forma de desprendimientos de carga —también denominados «deslastre de cargas» o «corte programado»— cuando otros fenómenos extremos, por ejemplo una ola de calor, sobrecargan el suministro¹³. Con demasiada frecuencia, los hogares de los países en desarrollo y desarrollados invierten en pequeños generadores diésel de respaldo que contaminan y emiten gases de efecto invernadero, sustancias nocivas y ruidos molestos^{12,13}.



La Tierra de noche, 2016

Fotografía: Observatorio de la Tierra de la NASA/Centro Nacional de Datos Geofísicos de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica

La evolución de la energía solar fotovoltaica

Las organizaciones multilaterales, estatales y no gubernamentales promueven desde hace decenios los sistemas descentralizados de energía solar fotovoltaica en las zonas rurales inaccesibles, en especial para cubrir servicios públicos como la iluminación de las escuelas y los centros de salud, el intercambio de información y las comunicaciones, las estaciones de bombeo comunitarias y la refrigeración de las vacunas^{14,15}. En la actualidad, esos sistemas pueden considerarse alternativas en cualquier parte de los países en desarrollo donde el Estado y el sector privado no son capaces de satisfacer las expectativas relativas a la ampliación y el mantenimiento de una red eléctrica, incluidos los asentamientos urbanos ilegales¹⁴.

En los últimos años, los pequeños sistemas de energía solar distribuidos se han popularizado en las comunidades de ingresos bajos de África y Asia, donde reside al menos el 95% de la población sin conexión a la red¹⁶⁻¹⁸. Esos sistemas van desde una sola lámpara a la que se incorpora un panel solar, una batería y un diodo emisor de luz (LED) hasta una pequeña unidad o sistema pico fotovoltaico con un panel, al menos una bombilla LED y una batería con tomas de carga USB para teléfonos móviles o incluso electrodomésticos de baja potencia³. Su precio oscila entre los 10 dólares de una lámpara solar hasta los 50 dólares de un sistema pico solar.

Estos productos de iluminación solar relativamente asequibles ofrecen un mayor rendimiento de la inversión, sobre todo cuando se compara su larga vida útil con el costo recurrente del keroseno o la parafina de las lámparas, las pilas secas de las linternas o las velas^{3,19}. Otros sistemas solares domésticos de mayor potencia tienen características semejantes, si bien pueden utilizarse con varias luces a la vez y electrodomésticos relativamente más grandes de corriente continua, tales como radios, ventiladores, televisores o incluso refrigeradores.

En África Subsahariana, una gran parte de la población sin conexión a la red dedica entre el 10% y el 30% de los ingresos del hogar a la adquisición de keroseno. Allí y en Asia, la iluminación con keroseno cuesta a los pobres casi 15.700 millones de dólares anuales^{20,21}. La sustitución de las lámparas de keroseno por lámparas solares reporta un ahorro importante a los hogares a lo largo de la vida útil de las lámparas solares y permite reducir notablemente el empleo de llamas abiertas en lámparas y velas, con lo que disminuyen la exposición a la contaminación del aire interior y el riesgo de incendio en los asentamientos informales^{11,21-23}. Los sistemas pico fotovoltaicos y domésticos son ahora más atractivos que nunca para un conjunto más amplio de personas no conectadas a la red.

El descenso continuado de los precios de los componentes fotovoltaicos y el rápido avance de la tecnología resultan apreciables. El costo de las células solares de silicio cristalino se redujo un 85% entre 2008 y 2016, gracias a la mejora de la eficiencia en su fabricación y a las economías de escala²¹.

Los avances en la tecnología LED han aumentado su eficiencia, de manera que emiten más luz con el mismo consumo eléctrico. Las baterías de plomo-ácido, sumamente contaminantes, se están quedando obsoletas y dan paso a las baterías de iones de litio, que ofrecen un rendimiento mayor, tienen una mayor capacidad de almacenamiento de energía y una vida útil más larga, y se recargan más rápido y de forma más eficiente²⁴. Pese a que las baterías son el componente más caro de los sistemas solares domésticos, el precio de las baterías de iones de litio cayó casi un 65% en cinco años, y se prevé que siga bajando debido a su uso generalizado en computadoras portátiles y otros dispositivos²¹.



Lámparas de keroseno con mecha fabricadas con latas recicladas

Fotografía cedida por Evan Mills

Energía solar sin conexión a la red

La población sin conexión a la red



Energía solar fotovoltaica

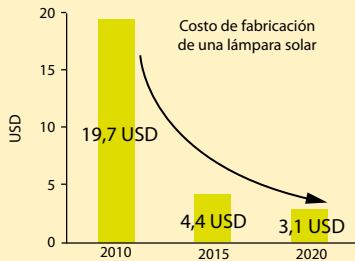
Esos sistemas solares fotovoltaicos van desde una **lámpara solar**, una pequeña unidad o **sistema pico** capaz de alimentar como mínimo una bombilla, hasta un **sistema solar doméstico** con una batería de mayor capacidad capaz de alimentar varias luces LED y electrodomésticos de corriente continua.

La **energía solar fotovoltaica** se está popularizando en las poblaciones sin conexión a la red de zonas tanto rurales como urbanas, sobre todo en África y Asia Meridional.

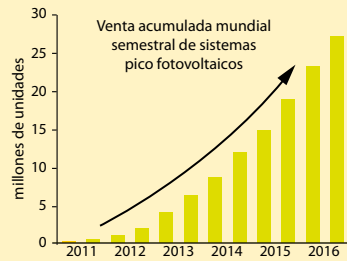
Se calcula que la población sin conexión a la red de África y Asia Meridional gasta anualmente **14.400 millones** y **6.600 millones de dólares**, respectivamente, en keroseno y lámparas, linternas y velas.



Los precios caen



Las ventas crecen

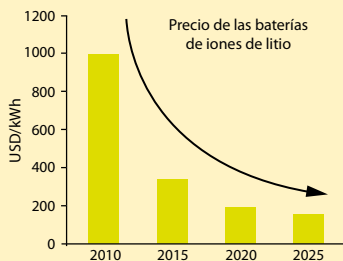


Retos y oportunidades

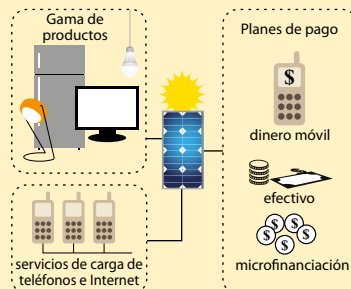
Disponer de **políticas racionales** y un objetivo claro sobre las energías renovables e impulsar la **tecnología** y la **innovación comercial** animaría a las comunidades que hoy carecen de conexión a la red a mantenerse en la **senda de la sostenibilidad** y las energías limpias.

Se prevé que los **desechos electrónicos** generados por los productos solares aumenten de manera exponencial en los próximos decenios. Así pues, será necesaria una gestión ambientalmente racional de los productos utilizados y, al mismo tiempo, oportunidades empresariales para los **mercados del reciclaje**.

El costo de las baterías disminuye



Modelos empresariales diversos



Los sistemas solares fotovoltaicos sin conexión a la red podrían generar **cientos de miles de puestos de trabajo** en toda la cadena de valor.

El PNUMA calcula que la transición a la iluminación eficiente sin conexión a la red creará **30 veces más** empleos que la iluminación basada en combustibles.

Comercialización innovadora de la energía solar sin conexión a la red

Uno de los factores clave a la hora de llevar la electricidad solar al mercado de los asentamientos informales es la innovación en los modelos empresariales^{16, 25, 26}. Aunque los precios minoristas de los sistemas pico y domésticos pueden resultar asequibles para algunas personas, aquellas que forman parte del segmento de población de ingresos más bajos sin conexión a la red no pueden hacer frente a la compra del equipo inicial. Muchas empresas pequeñas y emergentes están ofreciendo programas de financiación que ayudan a los consumidores a superar la barrera del costo inicial, con el propósito de obtener rentabilidad mediante la captación del gran volumen que proporciona este mercado^{16, 17, 19}.

Varios de esos planes permiten que la gente abone los mismos importes modestos que pagaban por el keroseno. Con los sistemas de reparto de los pagos, los clientes abonan una pequeña cuota a cambio de un sistema de energía solar y posteriormente efectúan pagos diarios, semanales o mensuales. Si el cliente deja de pagar, el sistema se desactiva automáticamente; si abona todos los plazos, se hace con la propiedad del producto. Este sistema suele vincularse a los servicios de dinero móvil, que se han consolidado en varias regiones, por ejemplo en determinadas zonas de África Subsahariana^{17, 27}.

Casi un tercio de la población urbana de la India reside en asentamientos informales²⁸. Un estudio de este tipo de asentamientos en Delhi calculó que la renta mensual media se sitúa en tan solo 105 dólares (6.676 rupias indias) por habitante, de los cuales se gasta el 90%.²⁹ La mayor parte de las empresas ofrecen planes de financiación para dar servicio a la mayoría de las familias marginadas que llegan de las zonas rurales a los asentamientos informales de las ciudades de la India —que están creciendo con rapidez—.

Al carecer de una dirección oficial y llevar menos de diez años en su hogar, las familias no pueden acceder a los servicios de financiación tradicionales. Algunas empresas contratan a vecinos y vecinas de cada zona para ofrecer en los asentamientos informales, a domicilio, productos con condiciones de pago asequibles³⁰. Por ejemplo, es posible adquirir una lámpara solar con un plan de pago de 5 a 8 semanas de duración. Otras empresas han ido más allá al establecer relaciones con instituciones de microfinanciación con vistas a ampliar las opciones de financiación para los consumidores con ingresos más bajos³¹.

En Sudáfrica, incluso después del programa de electrificación y vivienda posterior al *apartheid*, cerca de una cuarta parte de la población vive en asentamientos informales sin suministro eléctrico³². Un proyecto

▶ Vídeo: Por qué la energía solar se propaga con tanta rapidez en África



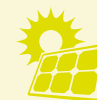
Enlace: <https://www.youtube.com/watch?v=tkvzb0admz0>
Fotografía: Gabriela Gemio Beltrán

© The Economist

Número estimado de abonados a servicios de telefonía móvil que carecen de conexión a la red



Fuente de los datos: Nique (2013)³²



de sostenibilidad encabezado por la Universidad de Stellenbosch se propuso mejorar las condiciones de vida de los 4.500 habitantes de Enkanini, un asentamiento informal sin conexión a la red de la provincia de El Cabo Occidental³³⁻³⁵. Mediante el uso de tecnologías energéticamente eficientes se llevaron a cabo intervenciones como la reorientación de las viviendas a fin de optimizar su potencial solar pasivo, la mejora del aislamiento de las construcciones y la recogida de agua.

El proyecto gestionó una empresa de energía solar sin conexión a la red con la que se prestó servicio al asentamiento, con la expectativa de ampliarla por medio de un modelo de franquicia y llegar a otros asentamientos no conectados. Los residentes tienen la posibilidad de contratar, a cambio de una tarifa, una serie de sistemas solares domésticos: un panel solar, dos luces LED interiores, un televisor, un punto de luz externo y dispositivos para cargar teléfonos móviles. Los clientes pagan una cuota de instalación de 14 dólares (200 rands sudafricanos) y un arrendamiento mensual de 11 dólares (150 rands)³³.

Una empresa puesta en marcha por el proyecto emplea a residentes del asentamiento y se ocupa de implantar y mantener el sistema. Este modelo empresarial ha sido adoptado recientemente por determinadas administraciones municipales para dar servicio a otros asentamientos informales de Sudáfrica³⁶⁻³⁸.

Los quioscos solares desplegados constituyen otra forma única de innovación empresarial que aprovecha la energía solar para brindar

▶ Vídeo: Alta demanda: un quiosco solar en Rwanda



Enlace: <https://www.youtube.com/watch?v=qbuklasonso>
Fotografía cedida por Henri Nyakarundi/African Renewable Energy Distributor

© DW English

Frecuencia y duración de los cortes de las redes eléctricas
(solo se muestran las regiones que superan el promedio mundial)

Cortes de energía al mes

Promedio mundial



África Subsahariana



Oriente Medio y África del Norte



Asia Meridional



Duración media de los cortes (en horas)



Fuente de los datos: Encuestas de Empresas del Banco Mundial, <http://www.enterprisesurveys.org>


servicio fuera de sus hogares a las comunidades sin conexión a la red. En un pequeño quiosco solar móvil se instalan unos cuantos paneles solares y una batería de iones de litio capaz de cargar simultáneamente de 10 a 80 teléfonos móviles (algunos incluso ofrecen wifi)^{39, 40}. Los quioscos solares de mayor tamaño son fijos y están dotados de paneles solares en el tejado⁴¹. Funcionan como una tienda de comestibles, pero en su gama de artículos se encuentran productos solares, teléfonos móviles, consumibles, medicamentos y servicios de carga de dispositivos e Internet. Los quioscos solares se están propagando por África, donde 135 millones de abonados a servicios de telefonía móvil carecen de electricidad en el hogar⁴².

Seguir el camino de las energías renovables

Un sistema pico fotovoltaico no es más que el primer paso para que una familia salga de la pobreza energética. Para suministrar electricidad a viviendas de entornos tanto rurales como periurbanos y urbanos, en un primer momento puede bastar con un sistema pequeño; no obstante, una vez que aumente su poder adquisitivo y los precios sigan bajando, sus moradores demandarán más capacidad. Así surgen una serie de oportunidades para seguir el camino de la energía solar, en lugar de recurrir de nuevo a los generadores alimentados con carbón y petróleo. En 2016, los combustibles fósiles representaban en torno al 80% de la generación de electricidad en África, y el 60% en Asia Meridional^{43, 44}.

A fin de mantenerse en la senda de la sostenibilidad y promover soluciones basadas en energías renovables han de tenerse en cuenta diversos factores que influyen en la ampliación del mercado de la energía solar. Entre ellos, la necesidad de establecer normas de calidad, concienciar a los consumidores, prestar ayuda financiera, gestionar los desechos electrónicos y reorientar las políticas públicas^{17, 25}.

En muchos países en desarrollo, los productos solares están disponibles desde hace años, si no decenios. Sin embargo, esos productos tenían una calidad baja o una vida útil reducida. La decisión de seguir utilizando la energía solar sin conexión a la red puede depender de la percepción que se tenga hoy de los productos

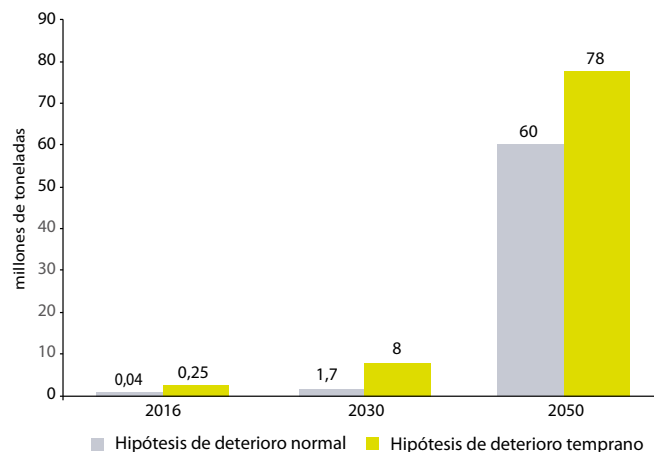
 **Vídeo: Energía solar para África de aquí a 2030**



Enlace: <https://www.youtube.com/watch?v=bb8su6oewyw>
Fotografía: MrNovel/Shutterstock.com

© CGTN Africa

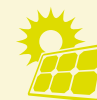
Resumen de las proyecciones de desechos mundiales de paneles fotovoltaicos para el período 2016-2050



Fuente: Adaptado de IRENA y Programa de Sistemas de Energía Fotovoltaica de la AIE (2016)⁴⁷

disponibles en el mercado. Las experiencias negativas con productos genéricos de calidad inferior podrían provocar que los posibles consumidores presentes y futuros se muestren menos receptivos. Dos vías concurrentes podrían ayudar a superar ese problema. Una consiste en fijar normas de calidad superior para los propios productos y garantías de devolución y reciclaje por parte de los proveedores de servicios. La segunda vía consiste en informar a los consumidores del nivel de calidad superior que ofrecen ahora como norma los productos, los servicios complementarios de la transacción y los propicios planes de pago a plazos²⁵.

La falta de capital circulante de las empresas, sobre todo de aquellas que ofrecen financiación al usuario final, puede limitar el desarrollo del mercado. En este sentido, pueden concebirse programas de apoyo que mitiguen tales dificultades, y los modelos empresariales innovadores que ya se están aplicando constituyen un buen ejemplo de las posibilidades existentes^{5, 16, 17, 25}. La futura demanda de sistemas solares domésticos de mayor capacidad también contribuirá a ampliar los mercados y atraerá el interés comercial y la inversión de inversores privados, bancos de desarrollo y donantes. En 2016 se invirtieron como mínimo 60 millones de dólares en dos empresas de África que ofrecen sistemas solares domésticos más grandes y a un precio más elevado que los de los primeros operadores de los sistemas de reparto de los pagos⁴⁵. Es probable que el objetivo de esas empresas solares sea crear un nuevo mercado de consumidores con rentas más altas, que quizá ya estén conectados a una red eléctrica poco fiable.



Otro reto lo plantean los desechos electrónicos generados por el volumen cada vez mayor de productos en uso. Las baterías de iones de litio, aunque se consideran menos tóxicas que las de plomo-ácido, pueden contaminar el medio ambiente debido a los diversos materiales químicos que contienen⁴⁶. En la actualidad, pocos fabricantes facilitan piezas de recambio o reciclan las baterías cuando llegan al final de su vida útil^{47, 48}. Los paneles de silicio cristalino son otro motivo de preocupación, pues también contienen sustancias tóxicas como el cadmio y el plomo. Si los clientes pudieran cambiar sus bienes de consumo por productos mejores mediante programas de devolución, aumentaría la viabilidad de los mercados de reciclaje y se reduciría el riesgo de contaminación. Hay que señalar también que muchos países donde los sistemas solares de menor tamaño se han popularizado quizá no cuenten con normativas sobre los desechos electrónicos dedicadas específicamente a los paneles solares⁴⁷.

Entre los retos a que se enfrentan las intervenciones públicas se halla la incertidumbre sobre las posibles decisiones normativas futuras acerca de la electrificación sin conexión a la red en las estrategias y la implementación nacional, regional y municipal. Asimismo, en numerosos países se subvenciona desde hace mucho tiempo la adquisición de keroseno para aplacar el descontento de los ciudadanos por el incumplimiento de la promesa de facilitar acceso a una red eléctrica. Pese a que hay quien recomienda eliminar los subsidios al keroseno, otra opción sería que los clientes sin conexión pudieran solicitar subvenciones para la adquisición de sistemas de energía solar. Surge la pregunta de si esos subsidios deberían mantenerse al terminar de pagarlos. Por otra parte, algunas empresas de suministro de electricidad sin conexión proponen poner fin a las barreras fiscales y a la importación, tales como los aranceles de importación elevados y el impuesto sobre el valor añadido aplicado a los productos solares, que en ocasiones incrementan de manera considerable su precio^{19, 25}.

Por último, el desarrollo de la capacidad también supone un reto más allá de la labor de concienciación de la ciudadanía. Las empresas y las comunidades requieren una fuerza de trabajo cualificada y competente que impulse el desarrollo del sector. Han de ofrecerse cursos de capacitación y programas de aprendizaje, sobre todo a los miembros de la comunidad local que conforma el mercado^{3, 25}. En un futuro inmediato, los sistemas sin conexión propiciarán la creación de cientos de miles de puestos de trabajo en la cadena de valor y podrán constituir una vía de salida de la pobreza para quienes se formen en la instalación y el mantenimiento de los sistemas solares domésticos de mayor tamaño^{25, 49}. Un estudio elaborado por el PNUMA Occidental calcula que probablemente la transición a la iluminación eficiente sin conexión a la red creará 30 veces más empleos que la iluminación basada en combustibles⁵⁰.

Con políticas y normativas adecuadas sobre las energías renovables y una idea clara de las posibilidades que plantea el futuro, los sistemas actuales alimentados con energía solar distribuida podrían seguir siendo la energía preferida de las comunidades sin conexión a la red de las zonas rurales y urbanas. Podría tratarse de un componente fundamental de cara al logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible consistentes en garantizar para 2030 el acceso a una energía asequible, fiable, sostenible y moderna y en erradicar la pobreza.

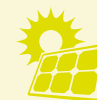


Una mujer recibe capacitación del Barefoot College para la instalación, reparación y mantenimiento de sistemas solares fotovoltaicos en su hogar en Rajastán (India)

Fotografía: Knut-Erik Helle, con licencia CC BY-NC-ND 2.0

Bibliografía

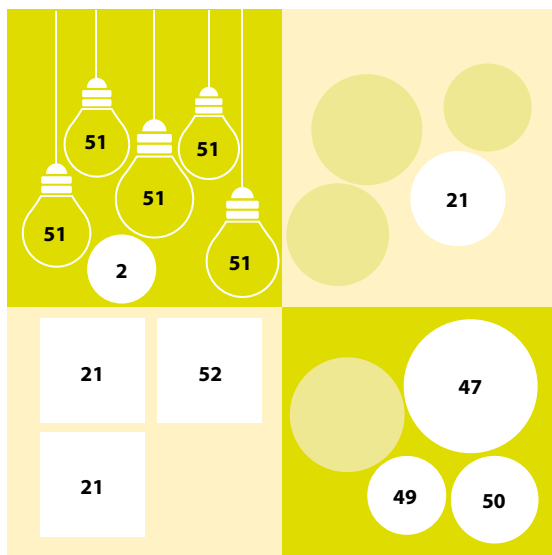
1. GEA (2012). *Global Energy Assessment – Toward a Sustainable Future*. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, and the International Institute for Applied Systems Analysis, Luxembourg, Austria. http://www.iiasa.ac.at/web/home/research/Flagship-Projects/Global-Energy-Assessment/Global_Energy_Assessment_FullReport.pdf
2. International Energy Agency and the World Bank (2015). *Sustainable energy for all 2015—Progress toward sustainable energy*. The World Bank, Washington DC. <http://www.se4all.org/sites/default/files/GTF-2105-Full-Report.pdf>
3. UNEP (2015). *Developing effective off-grid lighting policy: Guidance note for governments in Africa*. United Nations Environment Programme, Nairobi. <http://www.enlighten-initiative.org/portals/0/documents/Resources/publications/OFG-publication-may-BDef.pdf>
4. UNDESA (2014). *World Urbanization Prospects: The 2014 Revision, Highlights*. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, New York. <https://esa.un.org/unpd/wup/publications/files/wup2014-highlights.Pdf>
5. Gaunt, T., Salida, M., Macfarlane, R., Maboda, S., Reddy, Y. and Borchers, M. (2012). *Informal Electrification in South Africa: Experience, Opportunities and Challenges*. Sustainable Energy Africa, Cape Town. http://www.cityenergy.org.za/uploads/resource_116.pdf
6. Reddy, Y. and Wolpe, P. (2015). *Tackling urban energy poverty in South Africa*. Sustainable Energy Africa, Cape Town. <http://www.sustainable.org.za/uploads/files/file72.pdf>
7. Kazerooni, Y., Gyedu, A., Burnham, G., Nwomeh, B., Charles, A., Mishra, B., Kuah, S.S., Kushner, A.L., Stewart, B.T. (2015). Fires in refugee and displaced persons settlements: The current situation and opportunities to improve fire prevention and control. *Burns*, 42, 1036-1046. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305417915003861>
8. Kimemeia, D.K., Vermaak, C., Pachauri, S. and Rhodes, B. (2014). Burns, scalds and poisonings from household energy use in South Africa: Are the energy poor at greater risk? *Energy for Sustainable Development*, 18, 1-8. https://www.researchgate.net/publication/259519739_Burns_scalds_and_poisonings_from_household_energy_use_in_South_Africa_Are_the_energy_poor_at_greater_risk
9. Jacobson, A., Bond, T.C., Lam, N.L. and Hultman, N. (2013). *Black carbon and kerosene lighting: An opportunity for rapid action on climate change and clean energy for development*. Global Economy and Development Policy Paper 2013-03. The Brookings Institution, Washington DC https://www.brookings.edu/wp-content/uploads/2016/06/04_climate_change_clean_energy_development_hultman.pdf
10. Lam, N.L., Smith, K.R., Gauthier, A. and Bates, M.N. (2012). Kerosene: A review of household uses and their hazards in low-and middle income countries. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B, Critical Reviews*, 15(6), 396–432. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3664014/pdf/nihms447641.pdf>
11. Mills, E. (2016). Identifying and reducing the health and safety impacts of fuel-based lighting. *Energy for Sustainable Development*, 30, 30-59. https://www.researchgate.net/publication/290975529_Identifying_and_reducing_the_health_and_safety_impacts_of_fuel-based_lighting
12. Mukwaya, P.I. (2016). Urban Adaptation to Energy Insecurity in Uganda. *Current Urban Studies*, 4, 69-84. https://file.scirp.org/pdf/CUS_2016032414011321.pdf
13. Ghanem, D.A., Mander, S. and Gough, C., 2016. "I think we need to get a better generator": Household resilience to disruption to power supply during storm events. *Energy Policy*, 92, pp.171-180.
14. Frame, D., Tembo, K., Dolan, M.J., Strachan, S.M. and Ault, G.W. (2011). A community based approach for sustainable off-grid PV systems in developing countries. In The Electrification of Transportation and the Grid of the Future, the report of the 2011 IEEE Power and Energy Society General Meeting, Detroit, MI, United States, 24-28 July 2011. https://www.strath.ac.uk/media/departments/eee/cred/Conference_Paper.pdf
15. UNDP (2004). *Solar Photovoltaics in Africa: Experiences with financing and delivery models-Lesson for the future*. Monitoring and evaluation report series, Issue 2. United Nations Development Programme, New York and Global Environment Facility, Washington DC. http://www.undp.org/content/undp/en/home/librarypage/environment-energy/sustainable_energy/solar_photovoltaicsinafricaexperienceswithfinancinganddeliverymo.html
16. Nygaard, I., Hansen, U.E. and Larsen, T.H. (2016). The emerging market for pico-scale solar PV systems in Sub-Saharan Africa: From donor-supported niches toward market-based rural electrification. UNEP DTU Partnership, Copenhagen.
17. REN21 (2016). *Renewables 2016 Global Status Report*. REN21 Secretariat, Paris. <http://www.ren21.net/GSR-2016-Report-Full-report-EN>
18. UN-HABITAT (2016). *Urbanization and Development: Emerging Futures*. World Cities Report 2016. United Nations Human Settlements Programme, Nairobi. <https://unhabitat.org/wp-content/uploads/2014/03/WCR-%20Full-Report-2016.pdf>
19. Lysen, E.H. (2013). *Pico Solar PV Systems for Remote Homes: A new generation of small PV systems for lighting and communication*. Report IEA-PVPS T9-12: 2012. International Energy Agency, Paris. http://iea-pvps.org/index.php?id=299&elD=dam_frontend_push&docID=1433
20. SolarAid (2013). *Facts about kerosene, solar and SolarAid*. SolarAid factsheet. <https://www.solar-aid.org/assets/Uploads/Publications/Facts-about-kerosene-solar-and-SolarAid.pdf>
21. BNEF and Lighting Global (2016). *Off-grid solar market trends report 2016*. Bloomberg New Energy Finance, New York and Lighting Global, Washington DC. https://data.bloomberglp.com/bnef/sites/4/2016/03/20160303_BNEF_WorldBankIFC_Off-GridSolarReport_.pdf



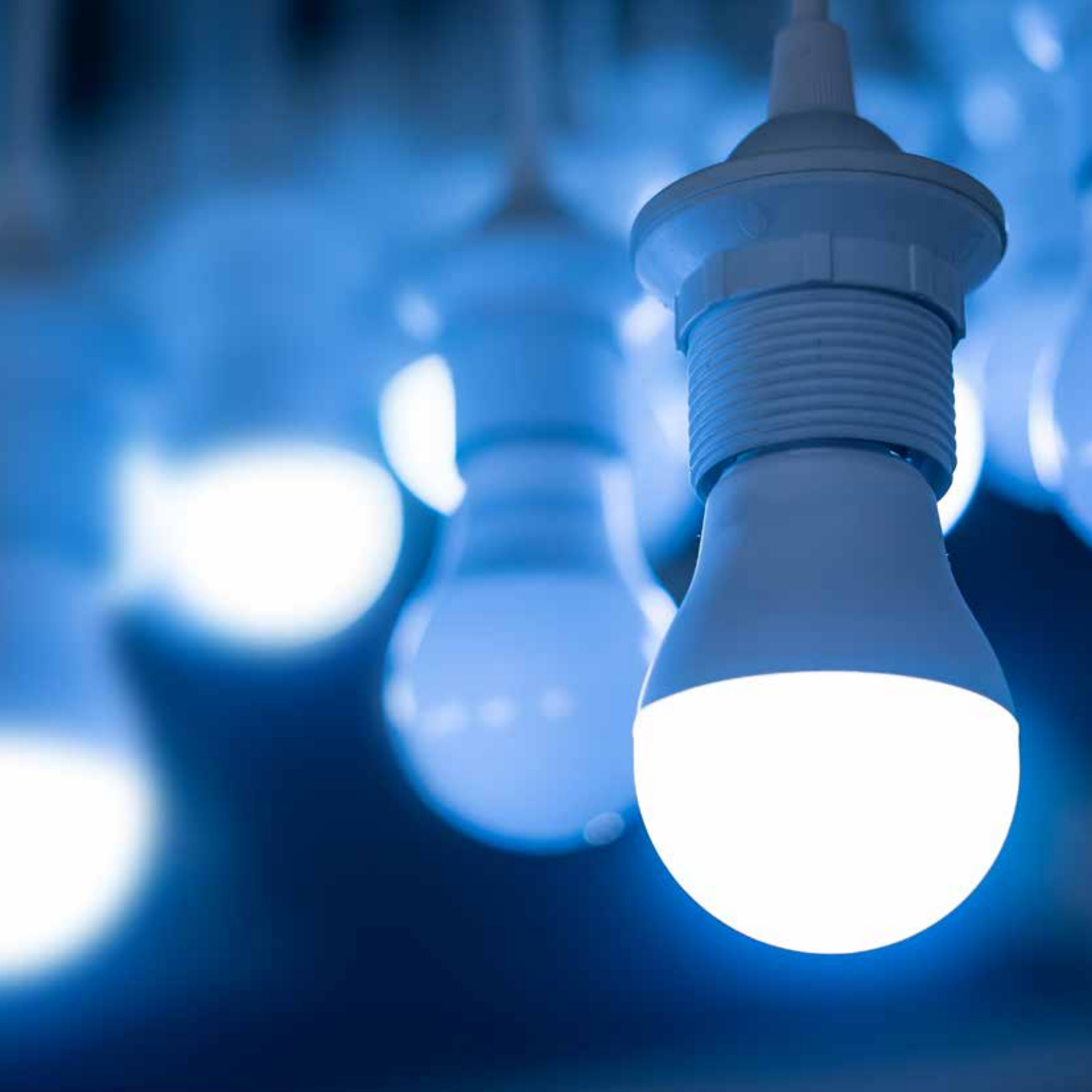
22. UN-HABITAT (2009). Promoting Energy Access for the urban poor in Africa: Approaches and Challenges in Slum Electrification. United Nations Human Settlements Programme, Nairobi. http://mirror.unhabitat.org/downloads/docs/8292_16690_GENUS%20AFRICA.EGM%20Final%20Report.pdf
23. UN-HABITAT (2012). Enhanced Energy Access for Urban Poor Practice Casebook. United Nations Human Settlements Programme, Nairobi. http://www.avsi-usa.org/uploads/6/7/4/2/67429199/avsi___coelba3.pdf
24. Phadke, A.A., Jacobson, A., Park, W.Y., Lee, G.R., Alstone, P. and Khare, A. (2015). Powering a Home with Just 25 Watts of Solar PV. Super-Efficient Appliances Can Enable Expanded Off-Grid Energy Service Using Small Solar Power Systems. Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley.
25. Diecker, J., Wheeldon, S., and Scott, A. (2016) Accelerating access to electricity in Africa with off-grid solar: Policies to expand the market for solar household solutions. Overseas Development Institute, London UK.
26. McKibben, B. (2017) The Race to Solar Power Africa. *The New Yorker*, 26 June 2017. <http://www.newyorker.com/magazine/2017/06/26/the-race-to-solar-power-africa>
27. IEA and World Bank (2015). Sustainable Energy for All 2015 – Progress Toward Sustainable Energy. World Bank, Washington, DC. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/22148>
28. Corrigan, G. and Di Battista, A. (2015). 19 charts that explain India's economic challenge. World Economic Forum website. <https://www.weforum.org/agenda/2015/11/19-charts-that-explain-indias-economic-challenge/>
29. PRIA (2014). Government led exclusion of the urban poor: A greater contribution though a lesser recipient. Delhi Study Report 2014. The Society for Participatory Research in Asia, Delhi. https://terraurban.files.wordpress.com/2014/01/delhi-study_april-2014.pdf
30. Pollinate Energy (2017). Pollinate Energy website. <https://pollinateenergy.org/>
31. Davidsen, A., Pallassana, K., Singh, J., Shiv, J., Walker, P., Parrish, S. and Sitsabeshan, S. (2015). The business case for off-grid energy in India. The Climate Group. <https://www.theclimategroup.org/sites/default/files/archive/files/The-business-case-for-offgrid-energy-in-India.pdf>
32. Department of Energy (2012). A survey of energy-related behaviour and perceptions in South Africa: The residential sector. Department of Energy, Government of the Republic of South Africa. <http://www.energy.gov.za/files/media/Pub/Survey%20of%20Energy%20related%20behaviour%20and%20perception%20in%20SA%20-%20Residential%20Sector%20-%202012.pdf>
33. Lemaire, X. and Kerr, D. (2014). The iShack Project in Enkanini, Stellenbosch, South Africa. Supporting Africa Municipalities in Sustainable Energy Transitions (SAMSET) website. <https://samsetproject.wordpress.com/2014/12/20/the-ishack-project-in-enkanini-stellenbosch-south-africa/>
34. SM and CORC (2012). Enkanini (Kayamandi) household enumeration report. Stellenbosch Municipality and Community Organisation Resource Centre. <http://sasdialliance.org.za/wp-content/uploads/docs/reports/Enumerations/Enkanini%20Final%20Report.pdf>
35. Wilde, S. (2015). iShack delivers power (and television) to the people. Mail & Guardian, 13 March 2015. <https://mg.co.za/article/2015-03-13-ishack-delivers-power-and-television-to-the-people>
36. Kovacic, Z., Smit, S., Musango, J.K., Brent, A.C. and Giampietro, M. (2016). Probing uncertainty levels of electrification in informal urban settlements: A case from South Africa. *Habitat International*, 56, 212-221. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0197397515302356>
37. Lemaire, X. and Kerr, D. (2016). Informal Settlements – Electrification and Urban Services. SAMSET Policy Brief. UCL Energy Institute, London.
38. Murugan, S. (2013). Solar energy lights up Ekurhuleni's informal settlements. Vuk'uzenzele, June 2013. <http://www.vukuzenzele.gov.za/solar-energy-lights-ekurhuleni-s-informal-settlements>
39. ARED (2017). Our solutions. African Renewable Energy Distributor. <http://www.a-r-e-d.com/>
40. Juabar (2017). Our design process. Juabar Design. <http://juabar.com/>
41. SOLARKIOSK (2017). One Solution—Various Purposes. SOLARKIOSK. <http://solarkiosk.eu/product/>
42. Nique, M. (2013). Sizing the opportunity of mobile to support energy and water access. GSMA, London. https://www.gsma.com/mobilefordevelopment/wp-content/uploads/2013/12/Sizing-the-Opportunity-of-Mobile_Nov-2013.pdf
43. UNEP (2017). Atlas of Africa Energy Resources. United Nations Environment Programme, Nairobi. <http://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/20476>
44. Shukla, A.K., Sudhakar, K. and Baredar, P. (2016). Renewable energy resources in South Asian countries: Challenges, policy and recommendations. *Resource-Efficient Technologies*, 1-5. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405653716302299>
45. Bloomberg New Energy Finance (2017). 1Q 2017 Off-grid and mini-grid market outlook. *Climatescope 2016* website. <http://global-climatescope.org/en/off-grid-quarterly/q1-2017/>
46. Wang, X. (2014). Managing end-of-life lithium-ion batteries: An environmental and economic assessment. Thesis, Rochester Institute of Technology, New York. <http://scholarworks.rit.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=9337&context=theses>
47. IRENA and IEA-PVPS (2016), "End-of-Life Management: Solar Photovoltaic Panels," International Renewable Energy Agency and International Energy Agency Photovoltaic Power Systems. http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA_IEAPVPS_End-of-Life_Solar_PV_Panels_2016.pdf

48. Industry Opinion on Lifecycle and Recycling (2014). The Global Off-Grid Lighting Association, Utrecht, https://www.gogla.org/sites/default/files/recource_docs/gogla-industry-opinion-on-lifecycle-and-recycling1.pdf
49. Mills, E., 2016. Job creation and energy savings through a transition to modern off-grid lighting. *Energy for Sustainable Development*, 33, pp.155-166.
50. UNEP (2014). Light and livelihood: A bright outlook for employment in the transition from fuel-based lighting to electrical alternatives. United Nations Environment Programme, Nairobi. http://www.ecreee.org/sites/default/files/light_and_livelihood_-_a_bright_outlook_for_employment.pdf

Referencias bibliográficas de los gráficos



51. World Bank (2017). World Development Indicators. The World Bank, Washington DC. <http://databank.worldbank.org/data/>
52. GOGLA (2017). *Global off-grid solar market report July-December 2016: Semi-annual sales and impact data*. Global Off-Grid Lighting Association, Utrecht. https://www.gogla.org/sites/default/files/recource_docs/final_sales-and-impact-report_h22016_full_public.pdf





*Miles de desplazados por las inundaciones y el conflicto cerca de Jowhar (Somalia) en 2013
Fotografía: UN Photo/Tobin Jones*

Desplazamiento ambiental: movilidad humana en el Antropoceno

¿Qué es el desplazamiento ambiental?

Vivimos en una época de movilidad sin precedentes: movilidad de ideas, de bienes, de dinero y, cada vez más, de personas. Doscientos cincuenta millones de personas residen y trabajan fuera del país donde nacieron. Otros 750 millones migran dentro de su propio país¹.

La escala y el ritmo de la movilidad humana, sumados a una población mundial que, según los pronósticos, superará los 9.000 millones para mediados del presente siglo, determinan nuestra realidad demográfica. La migración representa un factor tremendamente importante de desarrollo y progreso, que brinda oportunidades a los individuos y las familias, transmite ideas y conecta el mundo. Pero esta cuestión también ha causado divisiones políticas.

Al mismo tiempo, vivimos en una época de cambio ambiental sin precedentes. La actividad humana ha reconfigurado el planeta de forma tan profunda que los científicos apuntan a que se ha iniciado una nueva era geológica: el Antropoceno.

El cambio y la degradación ambiental —la desertificación, la deforestación, la degradación de la tierra, el cambio climático y la escasez de agua— están redibujando de manera fundamental el mapa de nuestro mundo. La degradación ambiental afecta al lugar y el modo en que las personas pueden vivir. Impulsa el desplazamiento humano y la migración forzosa, al poner en peligro la vida y hacer insostenibles los medios de sustento de la población, en especial de los más pobres y vulnerables.



Entretanto, los conflictos armados generan otras corrientes de personas que huyen de la violencia dentro de sus propios países (desplazamiento interno) o a través de las fronteras internacionales (refugiados). Al analizar las guerras civiles de los últimos 70 años se observa que al menos el 40% guardan relación con disputas por el control o la utilización de recursos naturales como la tierra, el agua, los minerales o el petróleo². A finales de 2016 había más de 65 millones de refugiados o desplazados internos —la cifra más elevada desde el fin de la Segunda Guerra Mundial—, y 128 millones de personas precisaron ayuda humanitaria^{3,4}.

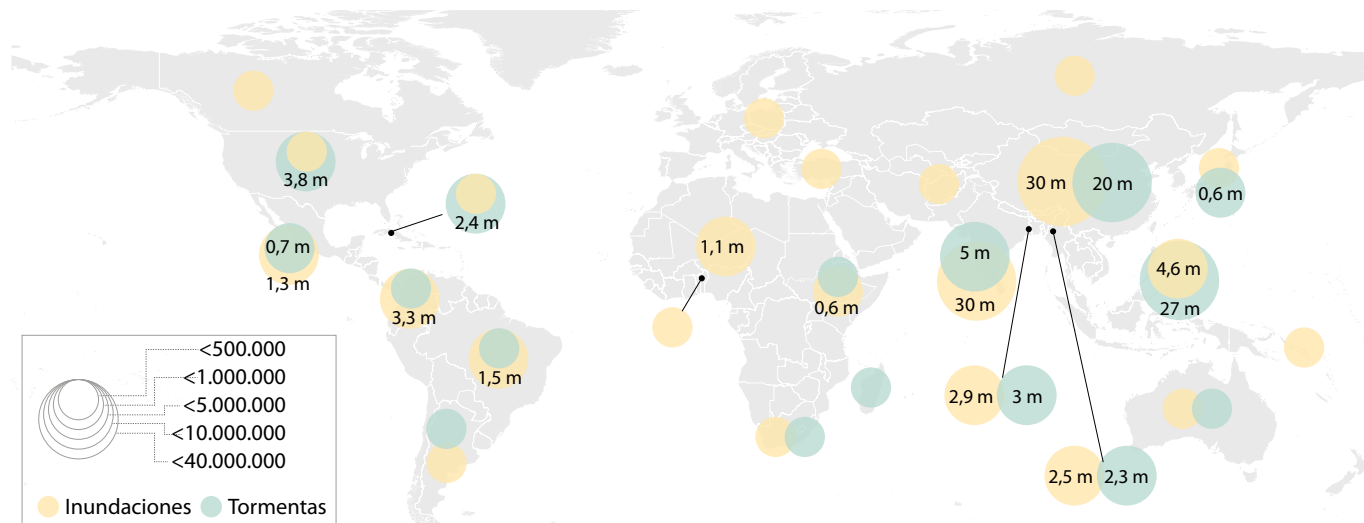
Las cuestiones ambientales han influido en los movimientos de la población desde que el ser humano emprendió su camino fuera de África por primera vez. Esos factores siempre han sido diversos y complejos, aunque es importante reconocer que, al menos históricamente, la degradación ambiental ha tendido a “preparar el terreno” para el desplazamiento, pero con frecuencia otros factores de vulnerabilidad como la pobreza y la falta de oportunidades han impulsado de manera clave los desplazamientos. La diferencia ahora reside en que el grado de degradación ambiental y la capacidad para desplazarse se combinan en un efecto de incitación y disuasión cuya escala no tiene precedentes⁵.

El crecimiento demográfico origina que más personas vivan en zonas marginales y ambientalmente vulnerables⁶. En promedio, los desastres naturales provocan ya el desplazamiento de sus hogares de 26,4 millones de personas⁷, lo que equivale a una persona por segundo. No obstante, las cifras no deben anestesiarnos. Toda estadística cuenta la historia de una pérdida personal: vidas truncadas, oportunidades perdidas, educación mermada.

Las tendencias entrelazadas de cambio climático, crecimiento demográfico, auge del consumo, grandes proyectos de infraestructura y deterioro ambiental pueden dar pie a que el número de desplazados crezca en el futuro, algo especialmente probable si esas tendencias evolucionan sin una respuesta adecuada de los Gobiernos y la comunidad internacional que mejore la resiliencia de los países y las comunidades frente a tales cambios. La cifra que se cita con más frecuencia señala que para 2050 podría haber hasta 200 millones de personas desplazadas por motivos ambientales⁵.

Es decir, en un mundo donde vivirán 9.000 millones de personas, 1 de cada 45 podría verse obligada a dejar su hogar por causas ambientales, y es posible que algunos territorios insulares de baja altitud deban abandonarse en su totalidad. Hacer frente a ese desplazamiento puede representar el reto ambiental definitorio del siglo XXI.

Número de personas desplazadas por inundaciones y tormentas en los países seleccionados durante el período 2008-2016



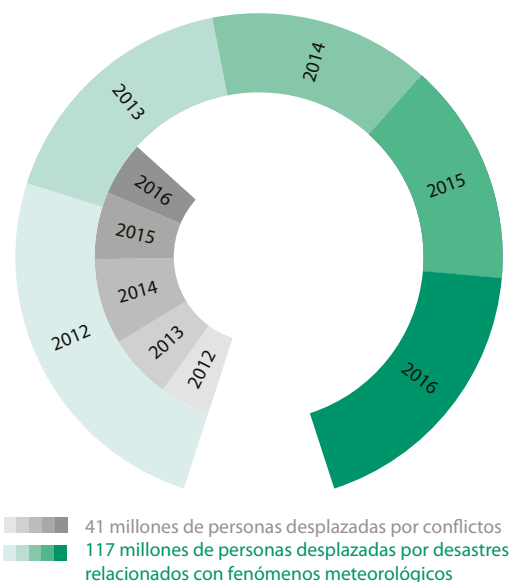
Fuente de los datos: Centro de Seguimiento de los Desplazados Internos. <http://www.internal-displacement.org/database/>

Entender el desplazamiento ambiental

Aunque en los últimos años el tema de la migración irregular ha adquirido prominencia a consecuencia de la «crisis de migración» en Europa, no es ni por asomo un desafío exclusivamente europeo. Del mismo modo que la migración tiene lugar en todo el mundo, ningún rincón está libre de poder verse afectado por el desplazamiento ambiental.

Por ejemplo, los modelos prevén que en la región de Asia y el Pacífico los desplazamientos aumentarán a medida que los efectos del cambio climático se intensifiquen^{10,11}. Las zonas costeras, los grandes deltas y las islas pequeñas son vulnerables a la subida del nivel del mar y están especialmente expuestos a los ciclones. Es posible que el pequeño Estado insular del Pacífico Tuvalu, cuyo punto más alto se eleva tan solo cinco metros por encima del nivel del mar, deba ser evacuado por completo en los próximos 50 años; las Maldivas, en los próximos 30. Varios Estados empiezan a planificar la posible reubicación de una parte o de la totalidad de su población. En 2014, Anote Tong, presidente de Kiribati, compró terrenos en Fiji en previsión de un posible incremento del nivel del mar¹².

Número de personas desplazadas por conflictos y desastres relacionados con la meteorología entre 2012 y 2016



Fuente de los datos: Centro de Seguimiento de los Desplazados Internos, www.internal-displacement.org/database

Por su parte, en el continente africano hay más países afectados por el desplazamiento que en cualquier otro continente o región. En 2015 vivían en África más de 15 millones de personas que se habían desplazado en su propio país por diversas razones, incluidas las relacionadas con el medio ambiente¹³. Más de la mitad de los Estados frágiles del mundo se encuentran en África Subsahariana, y el continente es especialmente propenso a las sequías, que agravan el riesgo de escasez de alimentos^{13,14}.

La importancia de las etiquetas



Existe controversia sobre si las personas desplazadas debido a la degradación ambiental y el cambio climático deberían denominarse «refugiados ambientales», «migrantes ambientales» o «personas desplazadas por motivos ambientales». No se trata de una mera cuestión semántica. Qué definición acabe por aceptarse de manera generalizada repercutirá en las obligaciones de la comunidad internacional en virtud del derecho humanitario y los derechos de las personas desplazadas.

Después de la Segunda Guerra Mundial, los encargados de la adopción de políticas en la esfera internacional consideraron que el término «refugiado» debía aplicarse únicamente a «toda persona que, debido a fundados temores de ser perseguida por motivos de raza, religión, nacionalidad, pertenencia a determinado grupo social u opiniones políticas, se encuentre fuera del país de su nacionalidad y no pueda o, a causa de dichos temores, no quiera acogerse a la protección de tal país»⁹.

En las campañas se ha utilizado el término «refugiado ambiental» para transmitir la urgencia del problema. No obstante, describir como «refugiados» a quienes huyen de las presiones ambientales no es correcto de acuerdo con el derecho internacional. Es probable que la mayoría de las personas a quienes el cambio ambiental expulsa de sus hogares permanezcan en el territorio de su país, aunque quizá no tengan la opción de regresar a las zonas inundadas debido a la subida del nivel del mar⁹.

En parte porque no existe una definición apropiada, los movimientos de población por causas ambientales resultan a menudo invisibles, sobre todo cuando el desplazamiento tiene lugar de forma gradual. Ninguna institución internacional asume la responsabilidad de recopilar datos en referencia al número de desplazados, ni siquiera de brindarles servicios básicos. Al no poder demostrar que se los persigue por motivos políticos en su país de origen, los desplazados quedan al margen del derecho humanitario internacional. Este informe opta por el término «desplazamiento ambiental», consciente de que no existe un término universalmente aceptado, pero con la esperanza de que transmita la noción relativamente precisa de que se trata de un fenómeno en auge de desplazamiento forzoso de la población relacionado con la degradación ambiental y el cambio climático.

Desplazamiento ambiental

Degradación de la tierra, desertificación y sequías

La sequía y la inseguridad alimentaria graves han provocado el **desplazamiento de 761.000 personas** en Somalia desde noviembre de 2016

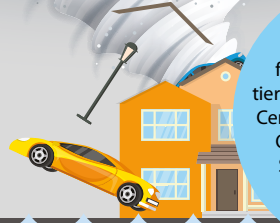
Según las previsiones, **las sequías** se intensificarán y serán más frecuentes y prolongadas a causa del cambio climático

La recuperación ecológica de más de 50.000 km² de tierra en Burkina Faso, Malí y el Níger contribuye a **invertir la tendencia de emigración**

El 50% de las tierras agrícolas de América Latina sufrirán la desertificación de aquí a 2050

Las tierras secas son cada vez más áridas y menos productivas a causa de la explotación insostenible de la tierra y el agua, y del cambio climático. Una tercera parte de la población mundial vive en tierras secas.

Desastres naturales



El IPCC pronostica **lluvias extremas** frecuentes que tocarán tierra en América del Norte y Central; África Oriental; Asia Occidental, Meridional, Sudoriental y Oriental; Australia y numerosas islas del Pacífico

117 millones de personas se desplazaron debido a desastres meteorológicos entre 2012 y 2016

La velocidad del viento de los **ciclones tropicales** es cada vez más alta, con lo que aumentan las probabilidades de que provoquen daños graves

El cambio climático repercute en la probabilidad, frecuencia e intensidad de los fenómenos meteorológicos extremos. Estos pueden convertir ciertas zonas en inhabitables y desplazar a grupos de población temporal o permanentemente.

Demanda y competencia por los recursos naturales

En los últimos 70 años, al menos el **40% de todos los conflictos** internos han estado relacionados con los recursos naturales

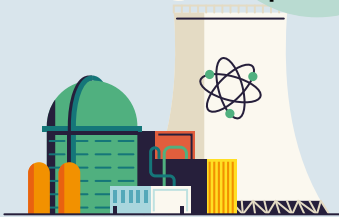


La competencia por recursos naturales cada vez más escasos—tierra, agua, madera, petróleo y minerales— puede generar tensiones y avivar conflictos entre los usuarios. Muchas veces, esas tensiones dan pie a conflictos violentos y desplazamientos forzados a gran escala.

La **expropiación forzosa** de tierras es cada vez más habitual en América Latina debido a actividades de minería, explotación forestal y plantación

Accidentes industriales

La catástrofe nuclear de Chernóbil en 1986 forzó la **evacuación y el reasentamiento** de al menos **330.000 personas**



150.000 personas se desplazaron debido a las **fugas radiactivas** de la central nuclear de Fukushima, en el Japón. No se sabe a ciencia cierta si podrán regresar y reasentarse

Los accidentes industriales graves pueden contaminar superficies extensas y obligar a la población a abandonar su hogar y reasentarse en otro lugar. Las consecuencias sobre la salud, sociales, económicas y ambientales a largo plazo de los accidentes industriales pueden dificultar su retorno permanente.

Subida del nivel del mar

En las Islas Salomón, **en los últimos decenios, han desaparecido cinco islas de coral** con vegetación debido a la subida del nivel del mar y la exposición al oleaje. Las comunidades se han reubicado en una isla volcánica de más altitud



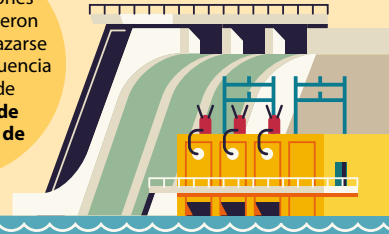
Un estudio sobre los patrones migratorios en los países en desarrollo entre 1970 y 2000 indica que la población se desplaza desde zonas secas periféricas y propensas a la sequía hacia zonas litorales **propensas a las inundaciones y los ciclones**

a las inundaciones, las marejadas ciclónicas, la transformación del litoral y la intrusión de agua salada por causa de la elevación del nivel del mar.

La mayoría de las megaurbes del mundo se encuentran en zonas costeras y grandes deltas, de las que depende el sustento de millones de personas. Las ciudades costeras de baja altitud y las islas pequeñas son vulnerables

Proyectos de infraestructura

En la década de 1980, 10 millones de personas se vieron obligadas a desplazarse cada año a consecuencia de **proyectos de construcción de presas y redes de transporte**



Grandes proyectos de infraestructura como las presas y las carreteras pueden provocar desplazamientos masivos. Asimismo, es probable que las grandes adquisiciones de tierra en los países en desarrollo por parte de proyectos de infraestructura y agronegocios, lo que se conoce como «acaparamiento de tierras», sean una causa importante de desplazamientos futuros.

Se calcula que la construcción a lo largo de 17 años de la **presa de las Tres Gargantas** en el río Yangtze, en China, provocó el **desplazamiento de 1,3 millones de personas**. Muchas todavía hallan dificultades para reasentarse

América del Norte tampoco es inmune a las consecuencias del desplazamiento ambiental. En 2016, los residentes de la isla de Jean Charles, en Luisiana, se convirtieron en los primeros «migrantes climáticos» de los Estados Unidos a los que se asignaron fondos federales para su reubicación. La subvención de 48 millones de dólares formaba parte de los 1.000 millones de dólares que el Departamento de Vivienda y Desarrollo Urbano destinó en enero de 2016 a ayudar a comunidades de 13 estados a adaptarse al cambio climático mediante la construcción de presas, sistemas de drenaje y diques más resistentes¹⁵.

La situación, en cualquier caso, es complicada. A menudo los grupos más vulnerables carecen de medios o conexiones para desplazarse y quedan atrapados. Otros, como los ganaderos, recurren a la migración estacional como estrategia de subsistencia. Entretanto, la reubicación planificada de grupos de población debido a un determinado riesgo, por ejemplo un gran empobrecimiento de la tierra, puede servir de válvula de escape al reducir las presiones ambientales sobre los ecosistemas delicados, aunque, de hecho, conlleva la «exportación» de su huella ecológica a otro lugar¹⁶.

También es importante recordar que el propio desplazamiento puede acarrear impactos sobre el medio ambiente y provocar una degradación ambiental que prolongue la emergencia humanitaria o empeore la relación con las comunidades de acogida. La urbanización informal o los campamentos de refugiados carentes de organización ejercen presión sobre unos recursos de tierra, hídricos, energéticos y alimentarios escasos. Semejante situación puede socavar los servicios de los ecosistemas, plantear riesgos para la salud derivados

 **Vídeo:** Previsión: la migración y el cambio ambiental mundial



Enlace: <https://www.youtube.com/watch?v=zt0Uju0aavg>
Fotografía: Miles de desplazados debido a la inundación de Cap-Haïtien (Haití), UN Photo/Logan Abassi

© GO-Science

de una eliminación de desechos deficiente, y dar pie a que las personas desplazadas se hallen en una situación de competencia directa con las comunidades locales^{17, 18}.

Soluciones institucionales

La cuestión del desplazamiento ambiental ha adquirido protagonismo en la agenda política, al atraer la atención de los encargados de la formulación de políticas, los académicos y la comunidad humanitaria. En 2011, la Oficina para la Ciencia del Reino Unido publicó los resultados de The Foresight Project, un estudio de la posible repercusión de los cambios ambientales globales en los movimientos de la población humana en todo el mundo. En el proyecto, que se desarrolló a lo largo de dos años, participaron más de 350 expertos destacados y partes interesadas de más de 30 países, quienes trataron un conjunto de temas que abarcaba desde la demografía hasta el desarrollo económico o la ecología¹⁶. El proyecto Foresight reveló aspectos imprevistos, sobre todo en relación con los beneficios de la migración y al atribuir una importancia novedosa a la planificación apropiada con miras a la adaptación *in situ* siempre que sea posible, a la gestión racional de la retirada de los lugares amenazados y a los planes de mejores prácticas de reasentamiento en las comunidades de acogida.

De manera simultánea a las investigaciones del proyecto Foresight, los Gobiernos de Noruega y Suiza organizaron una campaña relativa a los principios que deben fundamentar las respuestas a los complejos retos que plantea el desplazamiento de la población en el contexto del cambio climático y otros peligros ambientales¹⁹. La campaña acabó convirtiéndose en la Iniciativa Nansen, cuya reforma posterior dio pie a la creación de la Plataforma para el Desplazamiento por Desastres. La misión de la Plataforma consiste en fomentar el consenso en torno a los derechos y el amparo de las personas desplazadas a través de las fronteras debido a los desastres y el cambio climático²⁰. La Organización Internacional para las Migraciones aborda esta cuestión desde comienzos de la década de 2000 y ha creado una división especial dedicada a la migración y el cambio climático²¹. En 2016, la Universidad de Lieja (Bélgica) puso oficialmente en marcha el Observatorio Hugo, la primera dependencia académica dedicada al tema de la migración ambiental²².

Las cuestiones de la migración y el desplazamiento se han integrado cada vez más en los acuerdos internacionales de 2015 que establecen una gran parte del marco de desarrollo de cara a los 15 próximos años. El Objetivo de Desarrollo Sostenible 10 incluye el compromiso de «facilitar la migración y la movilidad ordenadas, seguras, regulares y responsables» con miras a reducir la desigualdad²³. El Marco de Sendái para la Reducción del Riesgo de Desastres establece un marco



mundial dirigido a paliar el riesgo de desastres y la pérdida de salud, vidas humanas y medios de subsistencia, con el propósito de reducir sustancialmente el número de personas desplazadas en todo el mundo de aquí a 2030²⁴. Una serie de aspectos relacionados con la migración se integraron formalmente en el Acuerdo de París sobre el Cambio Climático mediante la creación de un equipo de tareas, de conformidad con el Mecanismo Internacional de Varsovia para las Pérdidas y los Daños, encargado de desarrollar enfoques que prevengan, minimicen y hagan frente al desplazamiento por causa del cambio climático²⁵.

La Asamblea General de las Naciones Unidas de 2016 convocó una reunión de alto nivel a fin de generar consenso internacional en torno al reto cada vez mayor que plantean la migración internacional y el creciente flujo de refugiados. En esa reunión se aprobó la Declaración de Nueva York para los Refugiados y los Migrantes²⁶, que incluye dos anexos: el primero es un marco de respuesta integral para los refugiados; el segundo, una hoja de ruta hacia un pacto mundial para la migración segura, ordenada y regular, que deberá presentarse con miras a su aprobación en una conferencia intergubernamental sobre la cuestión en 2018²⁷.

El cambio ambiental y los factores que impulsan la migración

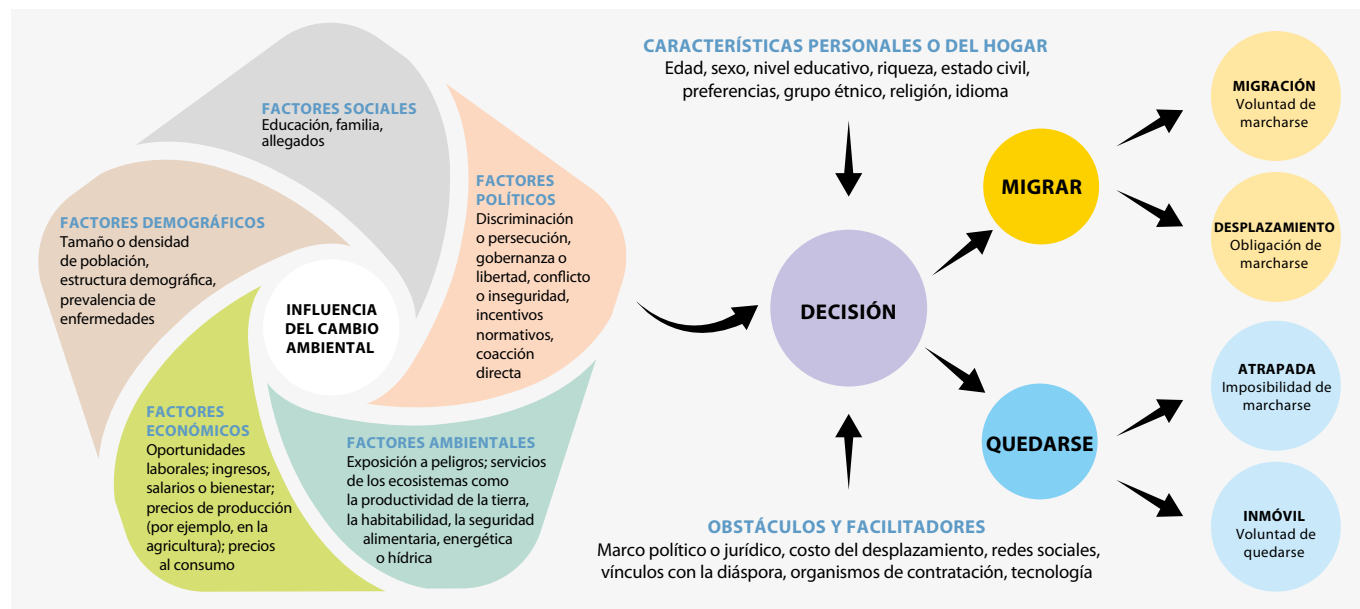
Un conjunto de factores determinan en gran medida la decisión de migrar o quedarse en un lugar. El cambio ambiental mundial repercute en las complejas interacciones de tales factores y puede dar pie a decisiones diversas.

Video: Consecuencias del cambio climático en el desplazamiento humano



Enlace: <https://www.youtube.com/watch?v=a2ntq67so3u>
Fotografía: Grand Desselines, Haití después del huracán Tomas, UN Photo/UNICEF/Marco Dormino, con licencia CC BY-NC-ND 2.0

© ACNUR



Fuente: Adaptado del marco conceptual de los factores de la migración y la influencia del cambio ambiental aprobado por el proyecto Foresight del Gobierno del Reino Unido¹⁶

Hacer frente al desplazamiento ambiental

La degradación ambiental y la mala gestión se entrelazan con los factores políticos, económicos y sociales que impulsan el desplazamiento. Necesitamos conocer mejor esos factores complejos para hacerles frente. A menos que seamos capaces de corregir la vulnerabilidad ambiental a largo plazo, las grandes cifras de personas desplazadas cada año podrían convertirse en la nueva norma.

La comunidad que trabaja por el medio ambiente ha de asumir un papel importante en la sensibilización acerca de los factores ecológicos del desplazamiento; la mejora de la capacidad de las comunidades y los países para resistir las conmociones y el cambio ambiental; y la planificación de la reubicación de las comunidades que probablemente se verán desplazadas debido a un cambio ambiental inevitable.

En última instancia, el desplazamiento no representa un reto exclusivamente político; como demuestra el caso de las marismas iraquíes, es importante considerarlo un reto ambiental. La escala de los posibles desplazamientos futuros —incluso conforme a hipótesis de cambio climático moderado— exige que los agentes ambientales, humanitarios y centrados en el desplazamiento colaboren para aumentar la resiliencia de la población en un mundo cambiante.

▶ Vídeo: Estos americanos pueden convertirse en «refugiados climáticos»



Enlace: <https://www.youtube.com/watch?v=ticvzpyuffg>

Fotografía: Shishmaref, Alaska, Reserva Nacional de Bering Land, con licencia CC BY 2.0

© CNN



Recuperar las marismas del Iraq

En la década de 1950, las marismas de Mesopotamia (Al-Ahwar), en el sur del Iraq, eran un paraje inmenso habitado por medio millón de personas —los ma'dans o «árabes de las marismas»—. Vivían en poblados aislados de casas de junco y salían adelante gracias a la pesca, el cultivo del arroz y la cría del búfalo de agua.

Sin embargo, a principios de la década de 1970 las marismas quedaron arrasadas por la construcción de una presa aguas arriba, la agricultura, la prospección petrolífera y las operaciones militares, así como, más directamente, por el avenamiento deliberado de los humedales que Sadam Husein llevó a cabo como represalia por los alzamientos de 1991 contra su régimen. En 2003, el 90% de las marismas se habían perdido, y en la zona solo quedaban 20.000 ma'dans. Se calcula que hasta 100.000 ma'dans habían huido a los campos de refugiados del Irán, y que otros 100.000 se convirtieron en desplazados internos en el Iraq.

En 2001, el PNUMA alertó de la desaparición de las marismas, de modo que su difícil situación atrajo el interés internacional. Después de la guerra del Iraq en 2003, el PNUMA puso en marcha un proyecto para ayudar a recuperar las marismas mediante la mejora de la capacidad de los encargados de adoptar decisiones, la puesta a prueba de tecnologías ambientalmente racionales y el monitoreo de la situación de las marismas. Posteriormente, un proyecto conjunto con la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) apoyó en 2009 la designación de las marismas como sitio del Patrimonio Mundial. En él se incluía la elaboración de un plan de gestión que plasmara las características históricas, culturales, ambientales, hidrológicas y socioeconómicas únicas de la región.

En 2003, los humedales empezaron a recuperarse, pese a que la sequía, la construcción de una presa aguas arriba y el conflicto continuado han obstaculizado el proceso. Decenas de miles de ma'dans están regresando a su hogar ancestral. En julio de 2016, con el respaldo del PNUMA, las marismas se convirtieron en el primer sitio del Patrimonio Mundial cultural y natural del Oriente Medio.

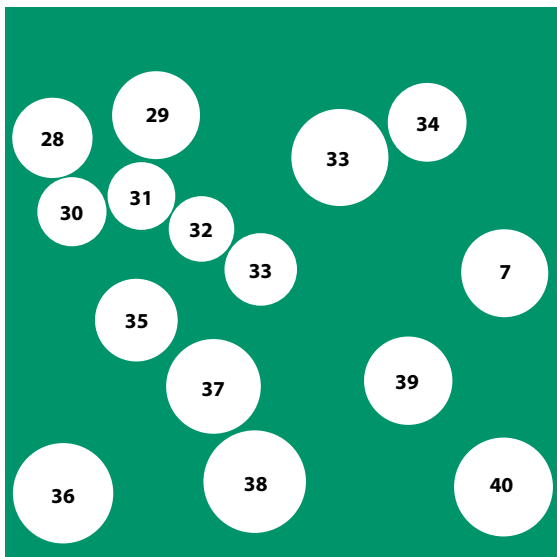


Bibliografía

1. World Bank Group (2016). *Migration and Remittances Factbook 2016, Third Edition*. World Bank, Washington DC. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/237432>
2. UNEP (2009). *From Conflict to Peacebuilding: the role of natural resources and the environment*. United Nations Environment Programme, Geneva. http://postconflict.unep.ch/publications/pcdmb_policy_01.pdf
3. UNHCR (2017). *Global trends: Forced displacement in 2016*. The United Nations High Commissioner for Refugees, Geneva. <http://www.unhcr.org/5943e8a34>
4. UN-OCHA (2016). *Global humanitarian overview 2017*. United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs, New York. https://www.unocha.org/sites/unocha/files/GHQ_2017.pdf
5. Ionesco, D., Mokhnacheva, D. and Gemenne, F. (2017). *The Atlas of Environmental Migration*. Earthscan, London.
6. Huppert, H.E. and Sparks, S.J. (2006). Extreme natural hazards: population growth, globalization and environmental change. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 364, 1875-1888. <http://rsta.royalsocietypublishing.org/content/364/1845/1875.full.pdf>
7. IDMC (2016). *Global Estimates 2015: People displaced by disasters*. Internal Displacement Monitoring Centre, Geneva. <http://www.internal-displacement.org/assets/library/Media/201507-globalEstimates-2015/20150713-global-estimates-2015-en-v1.pdf>
8. UNGA (1951). *Final Act and Convention Relating to the Status of Refugees*. United Nations Conference of Plenipotentiaries on the Status of Refugees and Stateless Persons, Geneva, 2-25 July 1951. United Nations General Assembly, Geneva. <http://www.unhcr.org/protection/travaux/40a8a7394/final-act-united-nations-conference-plenipotentiaries-status-refugees-stateless.html>
9. Davenport, C. and Robertson, C. (2016). Resettling the First American 'Climate Refugees'. *The New York Times*, 3 May 2016. <https://www.nytimes.com/2016/05/03/us/resettling-the-first-american-climate-refugees.html>
10. Cruz, R.V., Harasawa, H., Lal, M., Wu, S., Anokhin, Y., Punsalmaa, B., Honda, Y., Jafari, M., Li, C. and Huu Ninh, N. (2007). Asia. In *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge. http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg2/en/ch10.html
11. Hijoka, Y., Lin, E., Pereira, J.J., Corlett, R.T., Cui, X., Insarov, G.E., Lasco, R.D., Lindgren, E. and Surjan, A. (2014). Asia. In *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Barros, V.R., C.B. Field, D.J. Dokken, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L.White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/WGIAR5-Chap24_FINAL.pdf
12. Caramel, L. (2015). Besieged by the rising tides of climate change, Kiribati buys land in Fiji. *The guardian*, 1 July 2014. <https://www.theguardian.com/environment/2014/jul/01/kiribati-climate-change-fiji-vanua-levu>
13. IOM (2009). *Migration, Environment and Climate Change: Assessing the Evidence*. International Organization for Migration, Geneva. http://publications.iom.int/system/files/pdf/migration_and_environment.pdf
14. Niang, I., Ruppel, O.C., Abdrabo, M.A., Essel, A., Lennard, C., Padgham, J. and Urquhart, P. (2014). Africa. In *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Barros, V.R., C.B. Field, D.J. Dokken, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L.White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1199-1265. http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/WGIAR5-Chap22_FINAL.pdf
15. State of Louisiana (2016). LA receives \$92 million from U.S. Dept. of Housing and Urban Development for coastal communities, disaster resilience. State of Louisiana Press Release, 25 January 2016. <http://www.doa.la.gov/OCDDRU/NewsItems/Louisiana%20Receives%20NDRC%20Award.pdf>
16. Government Office for Science (2011). Foresight: Migration and Global Environmental Change: Future Challenges and Opportunities. Final Project Report. The United Kingdom Government Office for Science, London. https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/287717/11-1116-migration-and-global-environmental-change.pdf
17. Berry, L. (2008). *The impact of environmental degradation on refugee-host relations: a case study from Tanzania*. Research Paper no. 151. The United Nations High Commissioner for Refugees, Geneva. <http://www.unhcr.org/47a315c72.pdf>
18. Xu, X., Tan, Y. and Yang, G. (2013). Environmental impact assessments of the Three Gorges Project in China: Issues and interventions. *Earth-Science Reviews*, 124, 115-125. <https://www.researchgate.net/publication/260725538>
19. Kälin, W. (2008). *Guiding principles on internal displacement: Annotations*. Studies in Transnational Legal Policy No. 38. The American Society of International Law, Washington DC. https://www.brookings.edu/wp-content/uploads/2016/06/spring_guiding_principles.pdf
20. Disaster Displacement (2017). Platform on Disaster Displacement website. <http://disasterdisplacement.org/>
21. IOM (2017). *Migration and Climate Change*. International Organization for Migration website. <https://www.iom.int/migration-and-climate-change>
22. University of Liège (2016). The Hugo Observatory website. <http://labos.ulg.ac.be/hugo/about/>

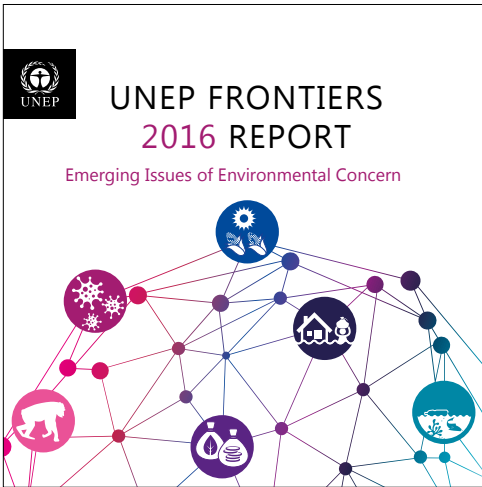
23. UN (2017). *Sustainable Development Goal 10: Reduce inequality within and among countries*. Sustainable development knowledge platform. <https://sustainabledevelopment.un.org/sdg10>
24. UNISDR (2015). *Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030*. United Nations Office for Disaster Risk Reduction, Geneva. http://www.unisdr.org/files/43291_sendaiframeworkfordrren.pdf
25. UNFCCC (2015). *Adoption of the Paris Agreement*. The 21st session of the Conference of the Parties of the UNFCCC document, FCCC/CP/2015/L.9/Rev.1. <https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09r01.pdf>
26. UNGA (2016). *New York Declaration for Refugees and Migrants*. Resolution adopted by the United Nations General Assembly on 19 September 2016, UNGA A/RES/71/1. United Nations, New York. http://www.un.org/en/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/71/1
27. UNGA (2017). *Modalities for the intergovernmental negotiations of the global compact for safe, orderly and regular migration*. Final draft of the resolution. United Nations, New York. <http://www.un.org/pga/71/wp-content/uploads/sites/40/2015/08/Global-compact-for-safe-orderly-and-regular-migration-1.pdf>
30. IPCC (2013). Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
31. IFAD (2010). *Desertification pamphlet*. International Fund for Agricultural Development, Rome. <https://www.ifad.org/documents/10180/77105e91-6f72-44ff-aa87-eeb57d730ba>
32. IDMC (2017). Internal Displacement Monitoring Centre database. <http://www.internal-displacement.org/database/>
33. Christensen, J.H., Krishna Kumar, K., Aldrian, E., An, S.-I., Cavalcanti, I.F.A., de Castro, M., Dong, W., Goswami, P., Hall, A., Kanyanga, J.K., Kitoh, A., Kossin, J., Lau, N.-C., Renwick, J., Stephenson, D.B., Xie, S.-P. and Zhou, T. (2013). Climate Phenomena and their Relevance for Future Regional Climate Change. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
34. UNEP (2009). *From Conflict to Peacebuilding: the role of natural resources and the environment*. United Nations Environment Programme, Geneva. http://postconflict.unep.ch/publications/pcdmb_policy_01.pdf
35. IAEA (2006). *Chernobyl's Legacy: Health, Environmental and Socio-economic Impacts and Recommendations to the Governments of Belarus, the Russian Federation and Ukraine. The Chernobyl Forum: 2003–2005, Second revised version*. International Atomic Energy Agency, Vienna. <https://www.iaea.org/sites/default/files/chernobyl.pdf>
36. Normile, D. (2016). Five years after the meltdown, is it safe to live near Fukushima? *Science News*, 2 March 2016. <http://www.sciencemag.org/news/2016/03/five-years-after-meltdown-it-safe-live-near-fukushima>
37. Albert, S., Leon, J.X., Grinham, A.R., Church, J.A., Gibbes, B.R. and Woodroffe, C.D. (2016). Interactions between sea-level rise and wave exposure on reef island dynamics in the Solomon Islands. *Environmental Research Letters*, 11(5), p.054011. <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/11/5/054011/pdf>
38. De Sherbinin, A., Levy, M., Adamo, S., MacManus, K., Yetman, G., Mara, V., Razafindrazay, L., Goodrich, B., Srebotnjak, T., Aichele, C. and Pistolesi, L. (2012). Migration and risk: net migration in marginal ecosystems and hazardous areas. *Environmental Research Letters*, 7, 045602. <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/7/4/045602/pdf>
39. Cernea, M.M. (1995). Understanding and Preventing Impoverishment from Displacement: Reflections on the State of Knowledge. *Journal of Refugee Studies*, 8(3), 245-264.
40. Xu, X., Tan, Y. and Yang, G. (2013). Environmental impact assessments of the Three Gorges Project in China: Issues and interventions. *Earth-Science Reviews*, 124, 115-125. <https://www.researchgate.net/publication/260725538>

Referencias bibliográficas de los gráficos



28. ReliefWeb (2017). *Horn of Africa: Humanitarian Impacts of Drought – Issue 1 (as of 18 July 2017)*. The United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs. http://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/HOA_drought_updates_snapshot_18July2017.pdf
29. UNCCD (2014). *Desertification: The invisible frontline*. The Secretariat of United Nations Convention to Combat Desertification, Bonn. http://www.droughtmanagement.info/literature/UNCCD_desertification_the_invisible_frontline_2014.pdf





En 2016, el PNUMA presentó una nueva serie anual de publicaciones: *Fronteras. Nuevos temas de interés ambiental*. El informe identifica y permite conocer un amplio conjunto de temas novedosos relacionados con el medio ambiente que precisan la atención y la adopción de medidas por parte de los Gobiernos, las partes interesadas, los encargados de adoptar decisiones y la ciudadanía en general. La primera edición (en inglés), *Fronteras 2016*, presenta los seis temas siguientes:

- El sector financiero: pieza esencial para impulsar el desarrollo sostenible
- La zoonosis: las líneas poco definidas entre las nuevas enfermedades y la salud de los ecosistemas
- Microplásticos: problemas en la cadena alimentaria
- Daños y perjuicios: consecuencias inevitables del cambio climático en los ecosistemas
- Un cáliz envenenado: la acumulación de toxinas en los cultivos en la era del cambio climático
- Consumismo exótico: el comercio ilegal de animales vivos



ONU

medio ambiente

**Programa de las Naciones
Unidas para el Medio Ambiente**

United Nations Avenue, Gigiri
PO Box 30552, 00100 Nairobi, Kenya
Tel.: +254 20 7621234 | publications@unenvironment.org
www.unenvironment.org

