

y la dirección de las tensiones de carga aplicadas se ven limitadas por la flexibilidad de los goznes. La presencia de articulaciones bloqueables activas validaría los efectos de los modos reconfigurables bajo cargas diversas. También facultaría a los investigadores en robótica para descubrir diseños de papiroflexia con grados de libertad controlables y dictados únicamente por las limitaciones geométricas que imponga un módulo basado en celdas repetidas.

La construcción de piezas físicas interactivas y versátiles con un alto grado de libertad y movilidad sigue planteando un importante desafío de diseño a numerosos robots e instrumentos automatizados. En este sentido, el nuevo trabajo presenta una estrategia robusta para diseñar tales modos reconfigurables en materiales es-

tructurados artificialmente. En principio, debería ser posible obtener numerosas geometrías a partir de diferentes conjuntos de poliedros convexos. Y el algoritmo de los autores bien podría trasladarse al desarrollo de mecanismos automatizados, incluidos sistemas robóticos basados en papiroflexia.

Jamie Paik investiga en el Laboratorio de Robots Reconfigurables de la Escuela Politécnica Federal de Lausana

Artículo original publicado en *Nature* vol. 541, págs. 296-297, 2017.
Traducido con el permiso de Macmillan Publishers Ltd. © 2017

Con la colaboración de **nature**

PARA SABER MÁS

Self-organization, embodiment, and biologically inspired robotics. Rolf Pfeifer, Max Lungarella y Fumiya Iida en *Science*, vol. 318, págs. 1088-1093, noviembre de 2007.

Using origami design principles to fold reprogrammable mechanical metamaterials. Jesse L. Silverberg et al. en *Science*, vol. 345, págs. 647-650, agosto de 2014.

Rational design of reconfigurable prismatic architected materials. Johannes T. B. Overvelde et al. en *Nature*, vol. 541, págs. 347-352, enero de 2017.

EN NUESTRO ARCHIVO

Los metamateriales se acercan al mercado.

Lee Billings en *lyC*, febrero de 2014.

Cómo construir un robot pulpo. Katherine Harmon en *lyC*, abril de 2014.

Metal bípedo. John Pavlus en *lyC*, octubre de 2016.

SOSTENIBILIDAD

Comer hasta desecarnos

¿Afectan nuestros hábitos de consumo al agotamiento del agua subterránea como resultado del comercio internacional de alimentos? Un análisis global lo corrobora y señala los productos y países con mayor repercusión

MAITE M. ALDAYA

El alarmante descenso que están experimentando los niveles freáticos en las regiones áridas y semiáridas de nuestro planeta se debe en gran parte al riego practicado en las explotaciones agrícolas en los últimos 50 años sin apenas control

y planificación por parte de los organismos gubernamentales. Si bien tales formas de riego han reportado numerosos beneficios socioeconómicos y suelen ser menos proclives a la corrupción que los proyectos equivalentes con aguas superfi-

ciales, también han conllevado daños ecológicos como la subsidencia del terreno, la intrusión de agua marina en zonas costeras y la pérdida de manantiales y humedales. En parte, esos problemas parecen guardar relación con la exportación y el



consumo de materias primas. Carole Dalin, del Colegio Universitario de Londres, y otros investigadores han realizado el primer estudio cuantitativo sobre la pérdida global de agua subterránea no renovable derivada de las prácticas de riego implicadas en el comercio mundial de alimentos. Los resultados se han publicado en *Nature*.

El concepto de comercio de «agua virtual» (el agua empleada en la producción de mercancías) se introdujo para explicar que la importación de alimentos podía conllevar un ahorro de agua en Oriente Medio. La idea ilustraba que las importaciones permitirían a Oriente Medio gastar en producción agrícola un menor volumen de sus aguas que si la región produjera sus propios alimentos. Varios estudios han cuantificado los volúmenes de agua virtual integrada en el comercio de productos agroalimentarios a fin de relacionar el consumo de alimentos con la escasez de agua en las regiones productoras.

En el trabajo citado, Dalin y sus colaboradores han ahondado en su análisis del comercio de agua virtual mediante el cálculo de la pérdida de agua subterránea no renovable como consecuencia del comercio de alimentos practicado entre 2000 y 2010. En su estudio correlacionan la cantidad de agua de riego extraída de reservas de agua subterránea no renovable con el volumen de comercio

asociado. El análisis puede ejercer cierta influencia tanto en los planes de gestión de las reservas hídricas globales como en las crecientes líneas de investigación que estudian las huellas socioeconómicas del comercio mundial.

Los autores demuestran que cerca del 11 por ciento del agua subterránea no renovable aprovechada durante el período estudiado se exportó a través del comercio agrario. De ese porcentaje, unos dos tercios correspondió a las exportaciones conjuntas de Pakistán (29 por ciento), Estados Unidos (27 por ciento) y la India (12 por ciento). Los investigadores también han hallado que la inmensa mayoría de la población mundial vive en países que importan la práctica totalidad de sus alimentos básicos de naciones que consumen agua subterránea no renovable. Debido al agotamiento de las reservas subterráneas, algunos países (como Estados Unidos, México, Irán y China) ponen particularmente en peligro su seguridad alimentaria e hídrica, ya que son al mismo tiempo productores e importadores de productos agrarios regados con agua extraída de unos acuíferos que se desecan rápidamente.

Un problema global y local

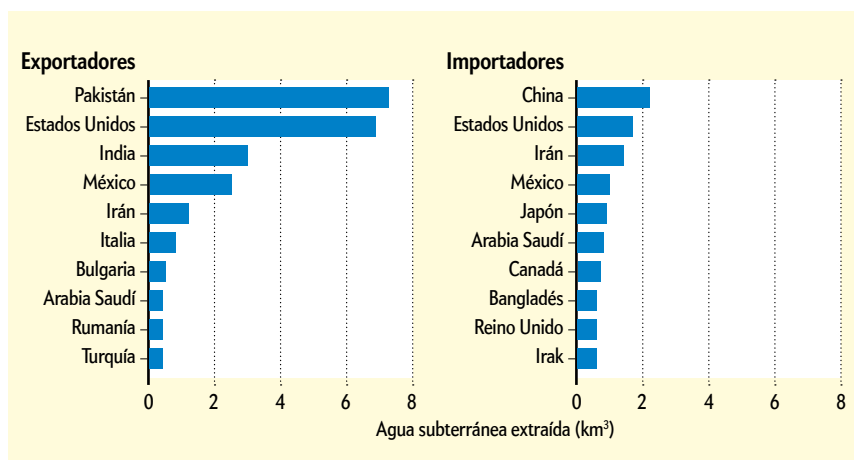
El estudio de Dalin y sus colaboradores se basa mayormente en extensos conjuntos de datos y en un análisis a escala mundial. Por tanto, las cifras que han obtenido representan en general valores promedio

con un amplio margen de incertidumbre. Evaluar las reservas de agua subterránea implica de por sí cierta imprecisión, ya que las propiedades de la atmósfera y el suelo presentan una enorme variabilidad, sobre todo en las regiones áridas y semiáridas. Como consecuencia de esa incertidumbre, los resultados de distintas investigaciones pueden llegar a ser considerablemente dispares. Por tanto, hay que ser precavidos a la hora de extraer conclusiones a partir de estudios globales de agua subterránea, sobre todo teniendo en cuenta que en tales trabajos las incertidumbres individuales asociadas al cálculo de determinadas cantidades se acumulan para dar lugar a incertidumbres totales todavía mayores.

El análisis de Dalin y sus colaboradores asume que los factores técnicos y sociales que influyen en el aprovechamiento del agua subterránea no van a cambiar. Las implicaciones de su estudio (que el agotamiento del agua subterránea asociada al comercio mundial de alimentos es insostenible) podrían estar describiendo, por tanto, la peor situación posible. Pero la realidad es más compleja. A pesar de que hoy se destina a las prácticas agrarias el 70 por ciento del agua subterránea extraída, resulta difícil predecir cómo evolucionarán las circunstancias en los próximos cien años.

Las evaluaciones de las reservas hídricas subterráneas a escala global sirven para subrayar la necesidad internacional de responder ante el agotamiento del agua subterránea. Por otro lado, el agua representa también un recurso local que se mueve en cuencas fluviales o acuíferos específicos. Por tanto, se requieren estudios a menor escala para poder tomar decisiones políticas importantes, puesto que los detalles observados a nivel local son fundamentales para entender el contexto, los condicionantes y los principales parámetros que influyen en las reservas de agua subterránea. La hidrogeología es un factor, pero también deben contemplarse aspectos económicos, sociales, culturales y ambientales.

En el sudeste de España, por ejemplo, el bombeo intensivo del agua subterránea y la minería de la misma (una extracción continuada que a menudo excede la recarga) practicados para regar los cultivos comerciales y, cada vez más, para abastecer al turismo, han causado una disminución de las reservas de unos 15 kilómetros cúbicos. Así lo demuestra el estudio realizado por Emilio Custodio,



LOS DIEZ MAYORES EXPORTADORES E IMPORTADORES de agua subterránea vinculada al comercio de alimentos. La causa principal del acelerado agotamiento de las reservas de agua subterránea reside en la extracción destinada al riego de las explotaciones agrícolas. Los cultivos importados y exportados por países involucrados en el comercio internacional de alimentos contienen una cantidad «virtual» de agua correspondiente a una fracción del agua subterránea no renovable explotada a nivel global. Se ha cuantificado el volumen de agua subterránea extraída que estuvo integrada en el comercio internacional de alimentos entre 2000 y 2010. La gráfica muestra los diez mayores exportadores e importadores del agotamiento de agua subterránea en 2010.

de la Universidad Politécnica de Cataluña, y sus colaboradores y publicado en *Science of the Total Environment* en 2016. La situación ha supuesto ocasionalmente serios problemas administrativos, legales y ambientales, aunque a su vez ha conllevado un importante desarrollo económico y social. El hecho de que el aprovechamiento de un recurso vital agotable esté controlado por las fuerzas del mercado suscita preocupaciones éticas que apuntan hacia la necesidad de un cambio radical en la gestión de los recursos ambientales.

Gestión y consumo responsables

El trabajo de Dalin y sus colaboradores identifica las regiones y los productos agrícolas expuestos a un mayor riesgo como consecuencia del agotamiento del agua subterránea. Sus observaciones deberían servir como una llamada de advertencia a las naciones y las autoridades al cargo de cuencas fluviales para considerar la influencia del comercio agrícola en el agotamiento de las aguas subterráneas no renovables y en la sostenibilidad del consumo nacional. La advertencia también debería dirigirse a

la mentalidad de los consumidores, que suelen hacer la vista gorda a las cadenas de suministro y las repercusiones de la comida importada.

Las evaluaciones globales suponen el primer paso hacia una mayor sostenibilidad de la producción de alimentos a nivel mundial, ya que proporcionan nuevos datos y perspectivas sobre el contexto general, así como sobre las fuerzas motoras del uso y abuso del agua. Analizar los problemas ambientales relacionados con el comercio también podría facilitar el planteamiento de nuevas soluciones para la gestión de los recursos hídricos a nivel mundial, que podrían aplicarse mediante la introducción de medidas cuyo

fin consistiera en asegurar que los marcos referentes al comercio de alimentos del mercado único europeo y la Organización Mundial del Comercio sean efectivos, sostenibles y equitativos.

Maite M. Aldaya es colaboradora del Observatorio del Agua en Madrid y consultora del Programa de las Naciones Unidas para el Medioambiente.

Artículo original publicado en *Nature* vol. 543, págs. 633-634, marzo de 2017.
Traducido con el permiso de Macmillan Publishers Ltd. © 2017

Con la colaboración de **nature**

PARA SABER MÁS

Evolution of the global virtual water trade network. Carole Dalin et al. en *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, vol. 109, págs. 5989-5994, 2012.

The water footprint of humanity. Arjen Y. Hoekstra y Mesfin M. Mekonnen en *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, vol. 109, págs. 3232-3237, 2012.

Groundwater depletion embedded in international food trade. Carole Dalin et al. en *Nature*, vol. 543, págs. 700-704, 2017.

EN NUESTRO ARCHIVO

Aprovechamiento agrícola del agua. Sandra Postel en *IyC*, abril de 2001.

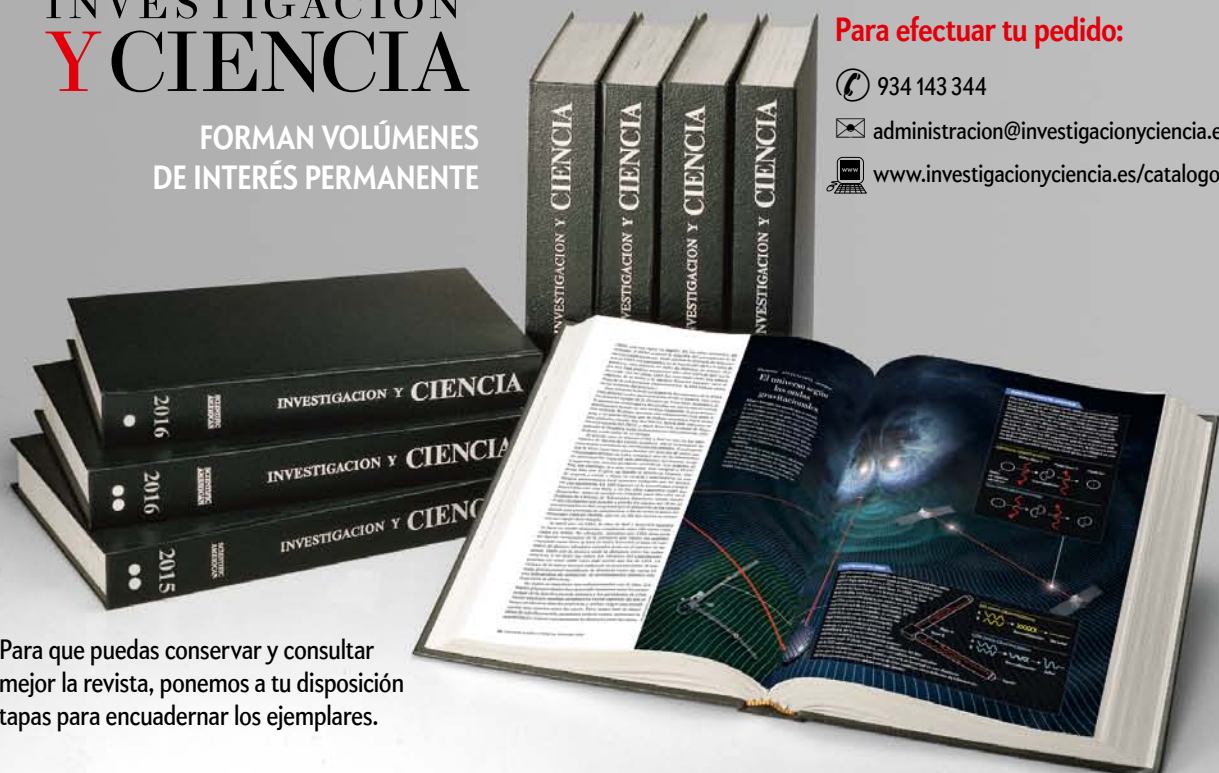
Importación y exportación del agua. Mark Fischetti en *IyC*, abril de 2013.

La humanidad consume más agua de la que se creía. Fernando Jaramillo en *IyC*, agosto de 2016.

LOS EJEMPLARES DE

INVESTIGACIÓN Y CIENCIA

FORMAN VOLÚMENES
DE INTERÉS PERMANENTE



Para efectuar tu pedido:

☎ 934 143 344

✉ administracion@investigacionyciencia.es

💻 www.investigacionyciencia.es/catalogo

Para que puedas conservar y consultar mejor la revista, ponemos a tu disposición tapas para encuadernar los ejemplares.