

# La paradoja del fósforo\*

## Escasez y sobreabundancia de un nutriente clave

**M**ientras conducía a los Estados Unidos a través de la Gran Depresión y preparaba al país para la guerra en Europa, el entonces presidente Franklin Roosevelt se tomó un momento en 1938 para hablar a los miembros del Congreso acerca del fósforo.<sup>1</sup> Más específicamente, habló de los fosfatos, la forma del fósforo más comúnmente explotada a nivel comercial. La presentación de Roosevelt no fue de carácter científico sino una alerta precautoria sobre el papel crítico que desempeña este elemento en la producción agrícola. Las empresas privadas, advirtió, estaban exportando cantidades cada vez mayores de fosfatos a los mercados extranjeros. Dada la posibilidad de que este componente esencial de los fertilizantes llegara a escasear dentro del país, Roosevelt recomendaba desarrollar una política formal para hacer frente a un problema estratégico.

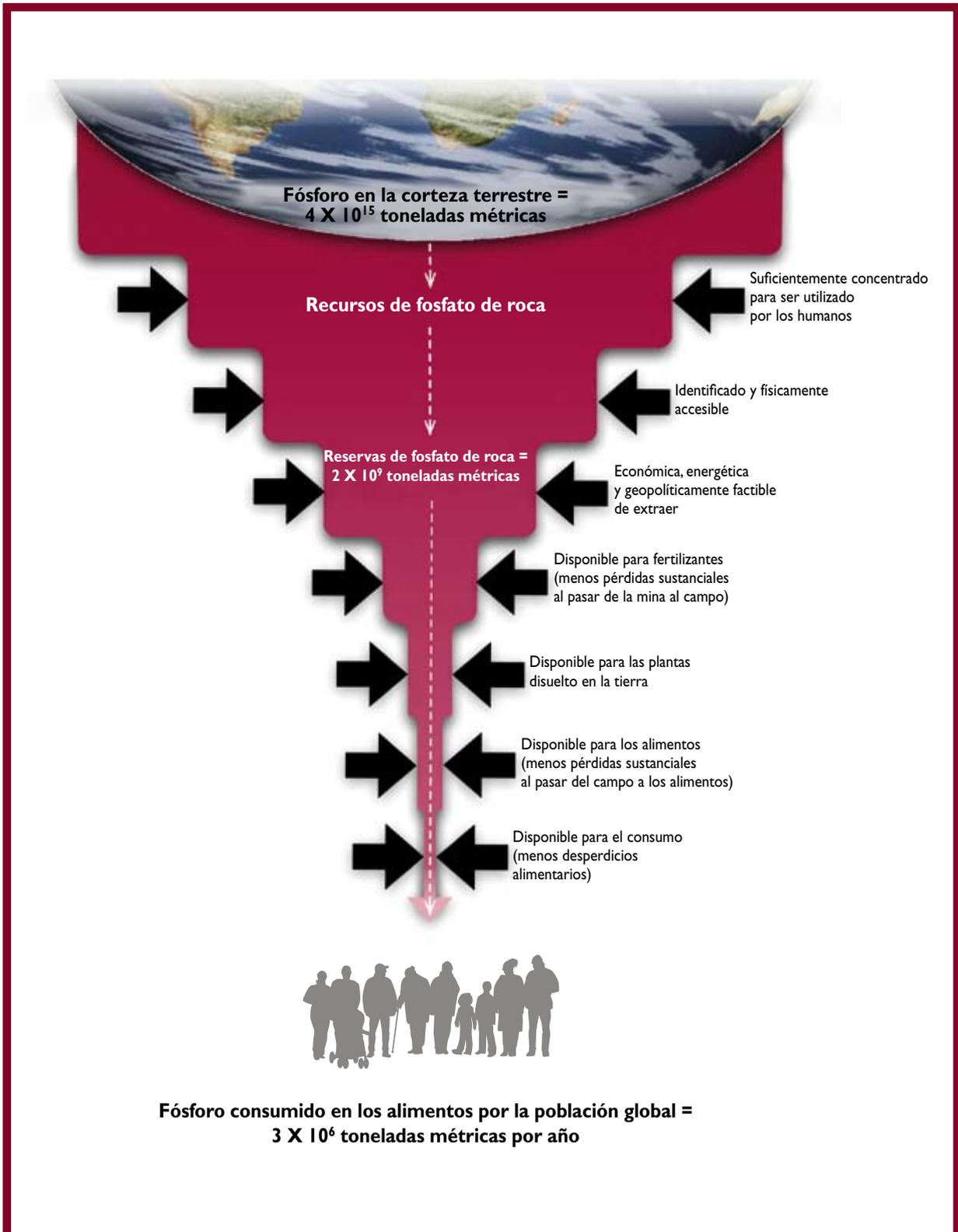
“La administración de nuestros depósitos de fosfato debería ser considerada un asunto de interés nacional”, señaló. “La situación parece ofrecer a esta nación una oportunidad de ejercer la previsión en el uso de un gran recurso nacional casi ignorado hasta ahora en nuestros planes para el desarrollo de la nación”.<sup>1</sup>

A pesar del llamado de Roosevelt, no se formuló ninguna política de fosfatos. A más de siete décadas, la frase “casi ignorado hasta ahora” se sigue repitiendo en muchas discusiones en torno al tema del fósforo. Mientras tanto, la importancia de los fosfatos es aún mayor hoy en día que en los años 1930. El fosfato de roca se ha convertido en una mercancía sujeta al comercio global y a una serie de debates con carga política, cuyos temas van desde la degradación del medio ambiente y las amenazas a la salud humana hasta la seguridad alimentaria y la soberanía agrícola.

### “El cuello de botella de la vida”

El fósforo, uno de los elementos más comunes en la corteza terrestre,<sup>2</sup> fue llamado “el cuello de botella de la vida” por el escritor científico Isaac Asimov. “La vida puede multiplicarse hasta que se acabe todo el fósforo; después hay un alto inexorable que nada puede evitar”, escribió. “Acaso podamos reemplazar el carbón con energía nuclear, la madera con plásticos, la carne con levaduras y el aislamiento con la amabilidad; pero no hay sustituto ni reemplazo alguno para el fósforo”.<sup>3</sup>

\* Publicado originalmente en *Environmental Health Perspectives*, volumen 119, número 5, mayo 2011, páginas A208-A213.



Si bien el fósforo es uno de los elementos más comunes en la Tierra, sólo puede disponerse de un pequeño porcentaje de él para uso humano (Fuente: Schröder et al<sup>16</sup>)

Asimov señaló que la alfalfa puede prosperar en un suelo que contenga 0.1% de fósforo, mientras que la estructura de la planta contiene 0.7% de fósforo. Esta necesidad estequiométrica de fósforo lo convierte en un elemento irremplazable que rige el crecimiento de las plantas. No hay ningún insumo, natural o sintético, capaz de ocupar el lugar del fósforo.

Si bien el fósforo fue identificado químicamente hace apenas unos siglos, se lo ha empleado a lo largo de la historia de la agricultura en los residuos agrícolas y en el estiércol que se esparce los campos. Esta práctica tradicional sigue en vigor, pero la explotación minera del fósforo en el siglo XX contribuyó a elevar de manera constante los rendimientos agrícolas. Los fertilizantes con alto contenido de fósforo, nitrógeno y potasio elevaron el crecimiento de las plantas a niveles sin precedentes, sobre todo en los suelos tropicales más pobres en estos componentes.<sup>4</sup>

Desde mucho antes de la célebre Revolución Verde que comenzó en los años 1940 antes de volverse realmente popular en la década de 1960, los fertilizantes manufacturados estaban preparando a los agricultores para alimentar a más personas que nunca en el mundo. Los agoreros, según los cuales mil millones de personas a comienzos del siglo XX ya eran demasiadas, se habrían horrorizado de ver a más de 6 mil millones de seres humanos vivos y en su mayoría en buena salud a finales del milenio.

La producción agrícola ha aumentado no sólo a la par sino a un ritmo todavía mayor que la población. En 2010, año en que el conteo global de la población se cerró en siete mil millones de personas, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) reportó una disminución absoluta del número de personas desnutridas

en el mundo en relación con el año anterior, aunque la cifra de 925 millones sigue siendo alarmante.<sup>5</sup>

Rara vez se atribuye al fósforo esta disminución, pero este progreso sería impensable sin la drástica expansión de su uso en forma de fertilizantes a base de fosfatos.<sup>4</sup> Como lo indicó el discurso de Roosevelt ante el Congreso, ya para 1930 la importancia de este recurso estaba comprobada. La producción actual de fosfato de roca es casi 13 veces mayor que la de entonces.<sup>6</sup> No obstante, según Dana Cordell, principal investigadora del Instituto de Desarrollo Sostenible para el Futuro de la Universidad Tecnológica de Sydney y cofundadora de la Iniciativa Mundial de Investigación del Fósforo, las estimaciones de la cantidad que queda aún en la Tierra varían.

Cordell realizó uno de los intentos más resueltos<sup>7</sup> de precisar esas cifras. A juzgar por su descripción, los investigadores de su campo consideran que el fósforo no es un oscuro cuello de botella bioquímico sino un agente que debiera ocupar un lugar central en muchas discusiones científicas y sobre políticas.

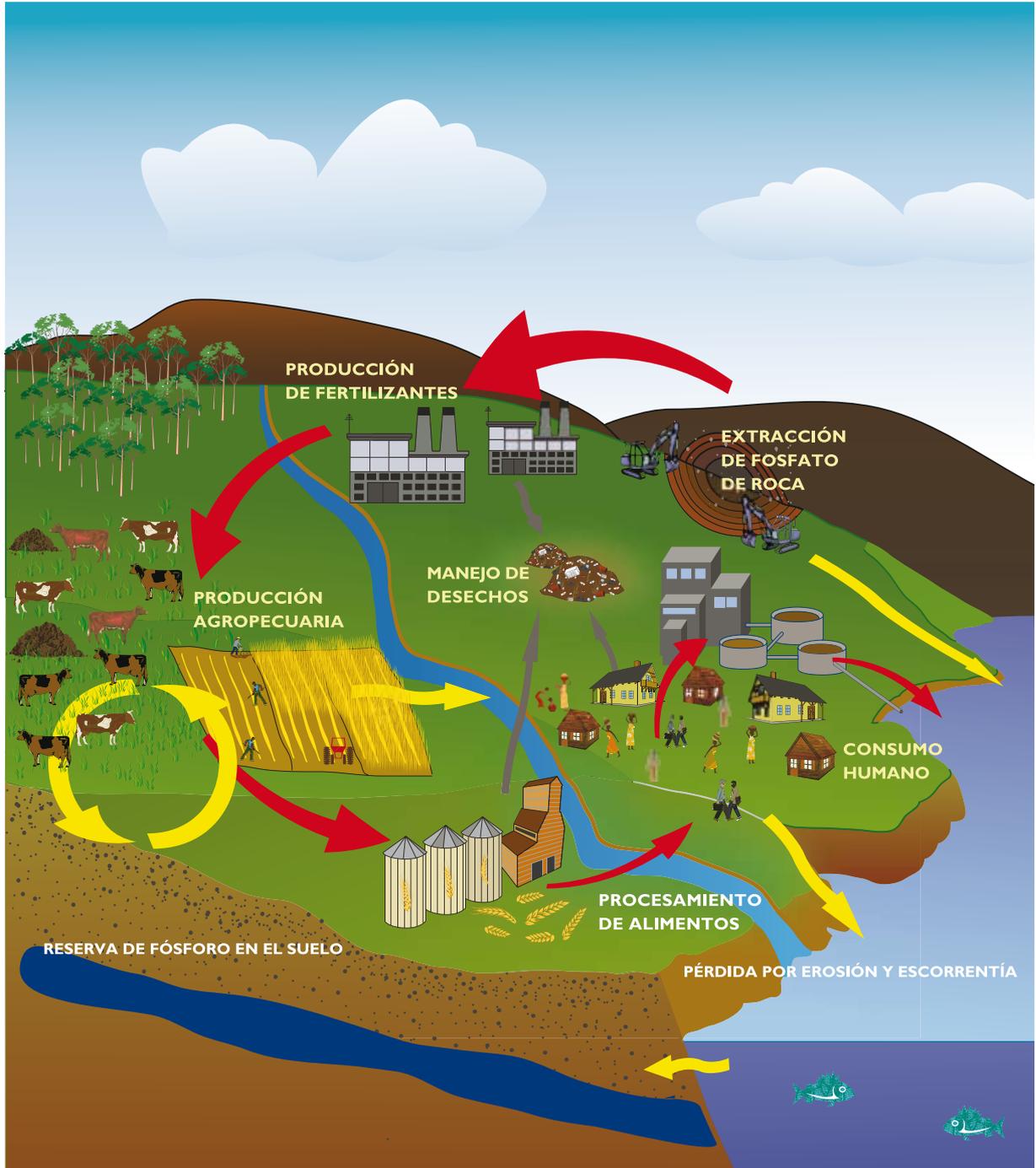
“El fósforo desempeña muchos papeles, deseables e indeseables, en la sociedad hoy en día”, escribió en 2010. “En cualquier momento dado, el fósforo desempeña diferentes funciones a escalas temporales y geográficas muy diferentes: transporta señales instantáneas al cerebro en el ATP químico o permanece inmóvil como una molécula de  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  en la roca de fosfato rica en apatita que tardó decenas de millones de años en formarse, en espera de ser extraído; es absorbido por las raíces de las plantas mediante difusión química, o bien, eliminado por nuestro organismo en una momentánea gota de orina antes de diluirse en un aluvión de agua del inodoro para reunirse con otras aguas residuales domésticas e industriales en una planta de tratamiento lejana.

Así, contamina los cuerpos de agua en forma de cianobacterias, o simplemente circula de manera natural entre la tierra, la biota y el agua sin ser advertida por la mayor parte de la sociedad”.<sup>8</sup>

### **Sobreabundancia de algo bueno**

Pese a sus virtudes como sustancia esencial para la vida, el fósforo también se ha granjeado una reputación como contaminante. En las áreas rurales fluye regularmente hacia las aguas receptoras como producto de la escorrentía de los campos de cultivo,<sup>9</sup> y en las áreas urbanas viaja por los sistemas de drenaje, como un componente importante del excremento humano que se descarga de los inodoros. En cualquiera de estos casos, el fósforo puede incrementar excesivamente los niveles locales de los nutrientes, provocando la reproducción rápida de algas en los lagos y ríos donde se concentra, un proceso llamado eutroficación.<sup>10</sup>

Este crecimiento excesivo de las algas puede llegar a reducir los niveles de oxígeno en el agua al grado de impedir la supervivencia de algunas especies de peces. El lago Erie se vio afectado por esta situación en los años setenta, lo cual atrajo la atención de David Schindler, biólogo de la Universidad de Alberta. Utilizando un pequeño lago de prueba dividido en dos partes por una cortina sumergida en el norte de Ontario, este científico demostró que los detergentes a base de fosfatos que surgían de las corrientes de aguas residuales municipales eran uno de los principales factores causantes del problema del lago Erie.<sup>11</sup> Acto seguido, se persuadió a los fabricantes de detergentes a limitar drásticamente la cantidad de fosfatos en sus productos, lo que redujo sustancialmente la eutroficación en el lago.<sup>12</sup>



Las flechas rojas muestran la principal dirección de los flujos de fósforo. Las flechas amarillas muestran el reciclaje del fósforo en el suelo y las cosechas y su movimiento hacia los cuerpos de agua. Las flechas grises muestran la pérdida de fósforo a través de los desperdicios alimentarios en los tiraderos de basura. (Fuente: UNEP<sup>32</sup>)

A partir de entonces, Schindler ha continuado estudiando el reto constante que representa la sobrecarga de nutrientes para los ambientes acuáticos y para la salud humana. Él y su coautor Val Smith escribieron en 2009: "Es claro que las actividades de desecho de residuos biológicos como la aplicación de estiércol a las tierras de cultivo puede incrementar al mismo tiempo la carga de fósforo, de nitrógeno y de bacterias coliformes potencialmente peligrosas en las aguas superficiales".<sup>13</sup> "Sin embargo, la carga de nutrientes incrementada podría influir por sí sola en la abundancia, composición, virulencia y supervivencia de los organismos patógenos que ya viven en los ecosistemas acuáticos".

Según el Comité Internacional de Ambientes Lacustres (en inglés, ILEC), organización no gubernamental japonesa que desde 1986 ha estado examinando la salubridad de 217 cuerpos de agua dulce, el lago Erie no es el único que enfrenta este reto bioquímico. En cinco publicaciones que salieron a la luz entre 1988 y 1994 el ILEC informó acerca de los lagos que presentaban el mismo problema en diversas partes del mundo en la segunda mitad del siglo XX. Mientras que la acción local finalmente llegó a reducir los niveles del insumo en 66 de esos lagos, los datos actuales<sup>14</sup> indican que todos ellos mantienen niveles de nutrientes muy superiores a los de hace algunas décadas.

El impacto de este cambio va mucho más allá de lo estético. Una reseña publicada en 2009 en la revista *Environmental Science & Technology* evaluó la eutroficación en Estados Unidos en un mínimo de 2 200 millones de dólares.<sup>15</sup> Un gran porcentaje de esta suma corresponde a propiedades ribereñas en peligro y a pérdidas de oportunidades recreativas. Al mismo tiempo, los investigadores tasaron en 813 millones de dólares la demanda de agua para beber que se

creó debido al sabor y olor inaceptables de las aguas eutrofizadas. "Esta estimación se basa únicamente en los costos del agua embotellada y no toma en cuenta costos adicionales relacionados con tratamientos alternativos, tales como la perforación de pozos o el acarreo de agua de otros lugares", afirmaron Walter K. Dodd y sus colegas, con base en un estudio de 241 plantas de agua potable.

Por lo que se refiere a otros costos relacionados con la salud, los autores afirman: "Las floraciones de algas provocan enfermedades a los humanos, y rara vez les causan la muerte. No incluimos los costos en salud humana porque parecen ser menores en comparación con otros factores que investigamos. Aun así, es probable que se tienda a invertir sumas considerables para evitar las floraciones tóxicas".<sup>15</sup>

Incluso en su aplicación benéfica como fertilizante, el fósforo puede imponer un costo en salud humana. Por ejemplo, dependiendo de su ubicación, los depósitos de rocas de fosfato pueden coexistir con cantidades variables de metales pesados. Un informe comisionado en 2010 por la Dirección General del Medio Ambiente de la Unión Europea y realizado en colaboración con la Universidad de Wageningen y el Instituto del Medio Ambiente de Estocolmo expresa una preocupación inmediata en relación con el cadmio,<sup>16</sup> cuyas propiedades tóxicas para riñones, huesos y pulmones está comprobada, y que se encuentra naturalmente en los depósitos de roca de fosfato.<sup>17</sup> Se considera que los fertilizantes a base de fosfatos son la principal fuente de cadmio en los suelos agrícolas.<sup>18</sup>

La cantidad particular de cadmio que se encuentra en un determinado depósito de fosfato puede variar de una parte del mundo a otra. Por ejemplo, en la geología ígnea de Sudáfrica puede haber sólo 0.04-4.0 mg de cad-

mio por cada kilogramo de fósforo, mientras que en las capas sedimentarias del Senegal la proporción asciende a 71-148 mg/kg.<sup>16</sup>

El informe de la Dirección General acepta una conclusión de la Asociación Internacional de la Industria de Fertilizantes en el sentido de que la lenta acumulación de cadmio en los suelos agrícolas de todo el mundo no ha producido concentraciones lo suficientemente elevadas como para que se requiera actuar.<sup>19</sup> Esta conclusión se vio reforzada después por un estudio de campo de los índices de transferencia de cadmio de los fertilizantes a las lechugas que se cultivan en ese suelo. Dicho estudio, que cubrió un periodo de dos años, se publicó en 2004 en la revista *Water, Air and Soil Pollution*, en dos partes.<sup>20,21</sup> Esta investigación reveló que a la larga el uso del superfosfato triple reducía de hecho la eficiencia de la transferencia de cadmio al suelo.

No obstante, un estudio similar de los índices de transferencia en las papas, publicado un año antes en la misma revista, advertía contra el uso agresivo de fertilizantes ricos en fosfatos. Emine Erman Kara y sus colegas escribieron: "Se encontró que debía evitarse el cultivo de las papas en las zonas con niveles elevados de metales pesados debido a que las papas tienden a acumular cantidades notablemente mayores de éstos que otras plantas". Añaden: "Se observó la necesidad de tratar los suelos ácidos con cal a fin de lentificar la captación de metales pesados por las plantas a través del suelo". Además, este tratamiento "podría evitar la contaminación de las aguas subterráneas de la región con metales pesados, especialmente en las zonas ácidas".<sup>22</sup>

El informe de 2010 de la Dirección General cita asimismo un informe del año 2000 a la Comisión Europea, en el que se sugiere que los niveles de cadmio de los fertilizantes podrían justificar regulaciones que

obliguen a someter a los fosfatos de los fertilizantes utilizados en la UE a un tratamiento capaz de eliminar prácticamente todo residuo de cadmio.<sup>23</sup> Este proceso, que emplea calor para eliminar dicho metal, es factible pero costoso.<sup>24,25</sup> Por ello, la producción de un fertilizante menos dañino para la salud podría limitar el acceso a los fertilizantes esenciales para aquellos agricultores que no cuenten con medios para adquirirlos.<sup>26</sup>

### Escasez de algo bueno

La falta de acceso a los fertilizantes ya es una realidad para los agricultores de los países que no cuentan con recursos considerables de fosfatos. Esto apunta a dos problemas relacionados entre sí, según señala Cordell. Primeramente, los agricultores pobres que cultivan en suelos deficientes en fósforo no tienen acceso a los mercados de fertilizantes, sobre todo en el África subsahariana. Y en segundo lugar, sólo unos cuantos países controlan las reservas de fosfatos restantes, lo que hace que cualquier país que dependa de las importaciones sea vulnerable a la volatilidad de los precios y de la disponibilidad.<sup>7</sup>

Estos países son numerosos debido a que, según se cree, los depósitos más grandes de este material son relativamente pocos. Una estimación del Estudio Geológico de Estados Unidos (en inglés, USGS)<sup>27</sup> realizado en 2010 identificó plenamente que 93% de las reservas mundiales de fosfato se encuentra en sólo seis países: Marruecos, China, Argelia, Siria, Sudáfrica y Jordania. Más de 83% del total se halla exclusivamente en Marruecos.

De acuerdo con una estimación más reciente del Centro Internacional de Desarrollo de Fertilizantes (en inglés, IFDC), basada en un análisis de la literatura, el total mundial ascendía a más del triple de la cantidad sugerida

por el USGS.<sup>28</sup> La mayor parte de este incremento corresponde a reservas ubicadas en Marruecos, país que contiene 85% del total global. Steven van Kauwenbergh, autor del informe del IFDC, reconoció la sustancial disparidad entre estas dos estimaciones, así como la falta de datos confiables y públicamente disponibles. Por este motivo hizo un llamado a adoptar un enfoque mucho más exhaustivo del tema y convocó la participación de un contingente de observadores que no solamente incluya a miembros de la industria de los fosfatos.

“Se requerirá un esfuerzo conjunto de productores de fosfato de roca, agencias del gobierno, organizaciones internacionales y académicos para realizar un cálculo más definitivo de los recursos mundiales de fosfatos”, según argumentó en el informe.<sup>28</sup> Van Kauwenbergh insistió además en que, pese a las limitaciones de los datos presentados en el mismo, el ritmo actual de producción de fertilizantes podría sostenerse durante varios siglos.

Sin embargo, esta predicción no satisfizo a todos. En una crítica al informe del IFDC publicada en abril de 2011, Cordell y sus colegas cuestionaban los supuestos de que se tiene acceso a 100% de la reserva y de que el consumo no se incrementará. Escribieron además: “Existe un consenso en cuanto a que las concentraciones de fósforo en las reservas de fosfato restantes en el mundo están disminuyendo mientras que las impurezas están aumentando, y a que el acceso físico a ellas es cada vez más difícil. Mientras tanto, la extracción y el procesamiento de los fosfatos tienen un costo creciente e incrementan cada vez más la contaminación y los desechos, y al mismo tiempo se requiere de cada vez más energía para obtener los nutrientes que contienen”.<sup>29</sup>

James Elser, quien inició su carrera estudiando la vida acuática, ha

mostrado un vivo interés en el modo en que la energía y determinadas sustancias químicas se mueven en el medio ambiente. El fósforo ocupa ahora un lugar importante en su trabajo integrador sobre la estequiometría biológica, por lo cual Elser se está enfocando en las alteraciones que nuestro uso desmedido de este elemento han provocado en su flujo natural en el medio ambiente.

Elser y algunos de sus colegas de la Universidad Estatal de Arizona fundaron la Iniciativa de Investigación sobre la Sustentabilidad del Fósforo con objeto de crear conciencia de las preguntas que se plantean en torno a las reservas de esta sustancia de consumo básico. En febrero de 2011 sus esfuerzos dieron lugar a la Cumbre de Fósforo Sostenible,<sup>30</sup> una reunión de tres días a la que acudieron más de 100 científicos, ingenieros, agricultores y empresarios.

“La Cumbre se distinguió por su enfoque participativo, interdisciplinario y creativo, que permitió a participantes con formación en diferentes campos compartir sus diversos conocimientos y perspectivas sobre el reto que representa el fósforo a nivel global”, señaló Cordell, quien habló en el evento. “Estuvo muy enfocado en las soluciones, y de ella se derivaron varias estrategias para avanzar de manera conjunta hacia una situación más sustentable”.

Entre estas estrategias se incluye la minimización de la cantidad de fósforo que se utiliza en la agricultura, recuperando todo residuo líquido antes de que llegue al medio ambiente e incluso reciclandolo para su utilización en el futuro.<sup>31</sup> Elser añadió que urge buscar una mayor coordinación en el manejo del fósforo. “Actualmente el ciclo del fósforo se encuentra bajo nuestra responsabilidad”, señaló. “Los flujos que generamos son mayores que los flujos naturales. Esta no es

una manera adecuada de administrar un ciclo biogeoquímico”.

**Tim Lougheed,**

ha trabajado como escritor independiente en Ottawa, Canadá, desde 1991. Fue presidente de la Asociación Canadiense de Escritores Científicos, y aborda una amplia gama de temas de ciencia, tecnología, medicina y educación.

## Referencias y notas

1. Wooley JT, Peters G. The American Presidency Project [página web]. Franklin D. Roosevelt. XXXII President of the United States: 1933–1945. 64—Message to Congress on Phosphates for Soil Fertility. 20 de mayo de 1938. Santa Bárbara, CA: The American Presidency Project (1999–2011). Disponible en: <http://tinyurl.com/3tftvkj> [consulta realizada el 13 de abril de 2011].
2. Suess HE, Urey HC. Abundances of the elements. *Rev Modern Phys* 28(1):53–74 (1956); doi:10.1103/RevModPhys.28.53.
3. Asimov I. *Asimov on Chemistry*. Garden City, NY: Doubleday (1974).
4. Smil V. Phosphorus in the environment: natural flows and human interferences. *Annu Rev Energy Environ* 25:53–88 (2000); doi:10.1146/annurev.energy.25.1.53.
5. FAO. *Global Hunger Declining, but Still Unacceptably High: International Hunger Targets Difficult to Reach*. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (septiembre de 2010). Disponible en: <http://tinyurl.com/3bypmlv> [consulta realizada el 13 de abril de 2011].
6. Buckingham DA, Jasinski SM. Phosphate Rock Statistics. En: *Historical Statistics for Mineral and Material Commodities in the United States, Data Series 140* (Kelly TD, Matos GR, comps.). Washington, DC: Estudio Geológico de EE. UU. (actualizado el 19 de octubre de 2010). Disponible en: <http://tinyurl.com/3ccm3ka> [consulta realizada el 13 de abril de 2011].
7. Cordell D, et al. The story of phosphorus: Global food security and food for thought. *Global Environ Change* 19(2):292–305 (2009); doi:10.1016/j.gloenvcha.2008.10.009.
8. Cordell D. The story of phosphorus: sustainability implications of global phosphorus scarcity for food security [tesis doctoral]. Linköping, Sweden: Linköping University (2010). Disponible en: <http://tinyurl.com/3fm7gix> [consulta realizada el 13 de abril de 2011].
9. Según Cordell, la pérdida de fósforo de los campos de cultivo podría deberse a las escorrentías de fertilizantes y al incremento de la erosión de los suelos no fertilizados que contienen fósforo naturalmente.
10. Smil V. Phosphorus: Global Transfers (Douglas I, comp.). En: *Encyclopedia of Global Environmental Change, Vol. 3, Causes and Consequences of Global Environmental Change*, pp. 536–542. Chichester, UK: John Wiley & Sons (2002). Disponible en: <http://tinyurl.com/5u4fy7k> [consulta realizada el 13 de abril de 2011].
11. Schindler DW. Eutrophication and recovery in Experimental Lakes: implications for lake management. *Science* 184(4139):897–899 (1974); doi:10.1126/science.184.4139.897.
12. Schindler DW. A personal history of the Experimental Lakes Project. *Can J Fish Aquat Sci* 66(11):1837–1847 (2009); doi:10.1139/F09-134.
13. Smith V, Schindler D. Eutrophication science: where do we go from here? *Trends Ecol Evol* 24(4):201–207 (2009); doi:10.1016/j.tree.2008.11.009.
14. ILEC. Survey of the State of World Lakes. Kusatsu-shi, Shiga, Japan: Comité Internacional de Ambientes Lacustres. Disponible en: <http://tinyurl.com/3k2tksc> [consulta realizada el 13 de abril de 2011].
15. Dodds WK, et al. Eutrophication of U.S. freshwaters: analysis of potential economic damages. *Environ Sci Technol* 43(1):12–19 (2009); doi:10.1021/es801217q.
16. Schröder JJ, et al. Sustainable Use of Phosphorus. Informe 357. Wageningen, Países Bajos: Plant Research International [Investigación Internacional de Plantas], Universidad y Centro de Investigación de Wageningen (octubre de 2010). Disponible en: <http://tinyurl.com/3wyygys> [consulta realizada el 13 de abril de 2011].
17. Nordberg GF, et al., comps. *Handbook on the Toxicology of Metals*. Tercera edición. Salt Lake City, UT: Academic Press (2007).
18. Alloway BJ, comp. *Heavy Metals in Soils*. 2a ed. Londres, RU: Blackie Academic & Professional (1994).
19. Isherwood KF. *Mineral Fertilizer Use and the Environment*. París, Francia: Asociación Internacional de la Industria de Fertilizantes y Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (revisado en febrero de 2000). Disponible en: <http://tinyurl.com/43zq2p4> [consulta realizada el 13 de abril de 2011].
20. Huang B, et al. Cadmium uptake by lettuce from soil amended with phosphorus and trace element fertilizers. *Water Air Soil Pollut* 147(1-4):109–127 (2003); doi:10.1023/A:1024558228180.
21. Huang B, et al. Availability of cadmium in some phosphorus fertilizers to field grown lettuce. *Water Air Soil Pollut* 158(1):37–51 (2004); doi:10.1023/B:WATE.0000044832.04770.41.
22. Kara EE, et al. Evaluation of heavy metals' (Cd, Cu, Ni, Pb, and Zn) distribution in sowing regions of potato fields in the province of Nigde, Turkey. *Water Air Soil Pollut* 153(1-4):173–186 (2004); doi:10.1023/B:WATE.0000019942.37633.31.
23. Oosterhuis FH, et al. A Possible EU Wide Charge on Cadmium in Phosphate Fertilisers: Economic and Environmental Implications. Informe Definitivo a la Comisión Europea. Informe #E-00/02. Ámsterdam, Países Bajos: Instituto de Estudios Ambientales, Vrije Universiteit (2000). Disponible en: <http://tinyurl.com/3n8q9kp> [consulta realizada el 13 de abril de 2011].
24. Lin J, Schorr M. A challenge for the phosphate industry: Cd removal. *Phosphor Potassium* 208:27–32 (1997).
25. OECD. Risk Reduction Monograph No. 5: Cadmium—Background and National Experience with Reducing Risk. OECD Environment Monograph Series No. 104. París, Francia: Dirección del Medio Ambiente, Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (1994). Disponible en: <http://tinyurl.com/3jfq8hq> [consulta realizada el 13 de abril de 2011].
26. Wanzala M, Roy A. The Africa Fertilizer Summit and Follow-Up. Preparado para el 13a Conferencia Internacional anual sobre el uso de Fertilizantes, 6–8 de febrero de 2007, Sharm El-Sheikh, Egypt. Muscle Shoals, AL: Centro Internacional de Fertilidad de la Tierra y Desarrollo Agrícola (diciembre de 2006). Disponible en: <http://tinyurl.com/3lcfmz> [consulta realizada el 13 de abril de 2011].
27. Jasinski SM. Phosphate Rock. En: *Mineral Commodity Summaries*, January 2011. Washington, DC: U.S. Geological Survey (2011). Disponible en: <http://tinyurl.com/4x2fapq> [consulta realizada el 13 de abril de 2011].
28. van Kauwenbergh S. *World Phosphate Rock Reserves and Resources*. Washington, DC and Muscle Shoals, AL: Centro Internacional de Desarrollo de Fertilizantes (2010).
29. Cordell D, et al. Peak phosphorus: the crunch time for humanity? *Sustainability Rev* 2(2): publicado únicamente en línea (2011). Disponible en: <http://tinyurl.com/69q3g7f> [consulta realizada el 13 de abril de 2011].
30. Sustainable Phosphorus Summit, Featured Speakers [página web]. Tempe, AZ: School of Life Sciences, Universidad del Estado de Arizona. Disponible en: <http://tinyurl.com/3w4jc75> [consulta realizada el 13 de abril de 2011].
31. Un número próximo de EHP incluirá un artículo sobre este tema.
32. UNEP. *UNEP Year Book 2011: Emerging Issues in Our Global Environment*. Nairobi, Kenya: United Nations Environment Programme (2011). Disponible en: <http://tinyurl.com/3t9juxo> [consulta realizada el 13 de abril de 2011].