

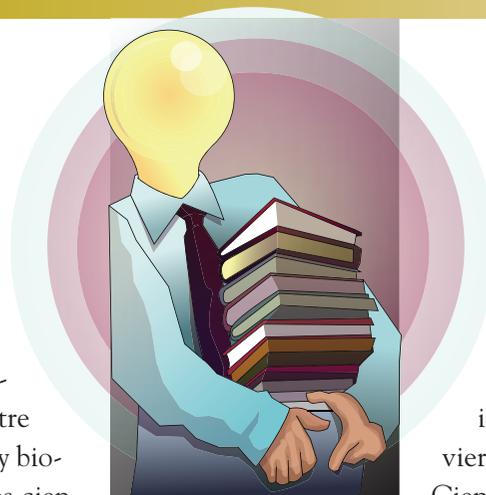
La contribución de los científicos mexicanos en el campo de las CIENCIAS AMBIENTALES: números, tendencias y perspectivas

Federico Páez-Osuna

Las ciencias ambientales se definen como el conjunto de disciplinas científicas que se requieren para entender y manejar el ambiente natural y las muchas interacciones entre sus componentes físicos, químicos y biológicos. El objetivo principal de las ciencias ambientales es describir el ambiente, interpretar los impactos de las actividades humanas (efectos *antropogénicos*) sobre los ecosistemas acuáticos y terrestres, y desarrollar estrategias para restaurar los ecosistemas.

Las ciencias ambientales abarcan y tratan diversos aspectos como contaminación de agua, aire y suelos, cambio climático, efectos de sustancias contaminantes, conservación, biodiversidad, manejo sustentable, calidad del agua, contaminación de agua subterránea, utilización y manejo de recursos naturales, manejo de desechos y remediación de la contaminación.

Mientras que el ambiente ha sido estudiado por al menos el tiempo que la ciencia ha sido considerada como tal, el reciente interés de combinar diferentes disciplinas para entender mejor los ecosistemas surge como un campo activo y más enfocado en los años setenta. Esto fue consecuencia, principalmente, de la necesidad de analizar problemas ambientales complejos e importantes. En paralelo, y a partir de estos mismos años, se comenzaron a crear y a consolidar revistas científicas que tratan distintos temas como contaminación, conservación, calidad del agua y re-



mediación, entre otros, pero que tienen en común el cubrir siempre algún aspecto de estudio sobre el ambiente.

Dentro de las bases de datos de información científica *Scopus* (Elsevier) e *ISI* (Instituto para la Información Científica, por sus siglas en inglés) existe un campo del conocimiento clasificado como “ciencias ambientales” que cubre un número importante de publicaciones con tal denominación. La edición de 2008 del *Thomson Scientific Citation Reports* (JCR) enlista en este campo un total de 160 títulos de revistas. Más allá de esta categorización, que se hace directamente sobre las revistas, cuando se procesa una búsqueda en las bases de datos mencionadas se incorporan y clasifican a todos aquellos artículos que por algún elemento de su contenido tengan relación con las ciencias ambientales. Es decir, existen revistas clasificadas de antemano, por ejemplo, en áreas como medicina, química o agricultura, pero que al contener algún elemento de ciencias ambientales se clasifican también en esta última categoría. O sea que hay artículos científicos que se publican en revistas que directamente tratan sobre las ciencias ambientales, y otros que abordan algún aspecto relacionado con las ciencias ambientales, y se publican en revistas de otros campos del conocimiento.

Con objeto de examinar dónde y qué tanto publican los científicos mexicanos sus trabajos en el campo de las ciencias ambientales, escribí hace poco un breve



comentario para la revista *Environmental pollution*; sin embargo, el tema merece ser comentado más ampliamente y ser conocido por la comunidad científica mexicana. Por ello, a continuación presento un análisis y un resumen sobre cuál ha sido la contribución de los científicos mexicanos en el campo de las ciencias ambientales en el contexto internacional, y discuto además las tendencias, retos y perspectivas al respecto.

¿Cuántos artículos se publican?

Al emplear las palabras “*environmental science*” y “México” en los campos de temática y afiliación de la búsqueda, respectivamente (corregido para tomar en cuenta la contribución de Nuevo México, Estados Unidos), tenemos que el número de artículos publicados con al menos un autor de una institución mexicana es de 10 mil 281 para el periodo 1996-2008. Tal acumulación de artículos ha sido resultado de un incremento anual: al inicio, en 1996, hubo 261 artículos indizados, y para 2008 (18 de diciembre) subió a mil 406: un incremento de 5.4 veces en los últimos 12 años (Figura 1). Por otra parte, el número de artículos en el campo de las ciencias ambientales alcanzado hasta ahora por científicos mexicanos y por extranje-

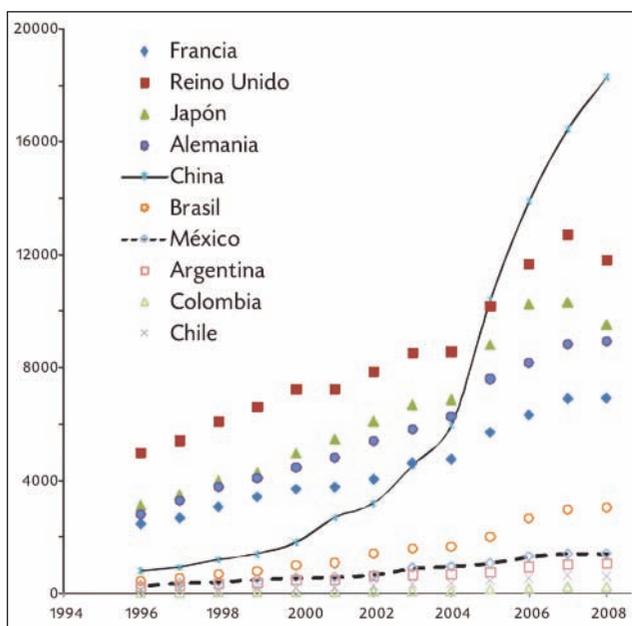


Figura 1. Tendencia en el número de artículos publicados por país que comprenden algún tópico de las ciencias ambientales para el periodo 1996-2008 (datos de *Scopus*, 2008).

ros residentes en México que tienen como afiliación una institución mexicana, es mayor que el de países latinoamericanos en general, a excepción de Brasil, que tuvo en 2008 una producción de 3 mil 27 artículos indizados. Como sea, si se comparan estos números con los de naciones desarrolladas como Francia (6 mil 911 artículos), Alemania (8 mil 939), Japón (9 mil 518) y Reino Unido (11 mil 828), resultan significativamente más bajos.

Más allá del impacto de los conocimientos contenidos en los artículos publicados, se espera en general que cuando más grande es la población de un país, éste debería tener una planta de científicos más numerosa, y por tanto publicar un mayor número de artículos. Sin embargo, en realidad, y por una gran diversidad de razones, no siempre ocurre así. Al examinar el número de artículos publicados en el campo de las ciencias ambientales de los últimos 13 años para 10 países elegidos al azar (incluidos China y México), se tiene que el coeficiente de correlación que resulta del ajuste lineal es pobre: apenas de un 0.335. Esto indica que, efectivamente, hay una cierta tendencia de que a mayor población hay un mayor número de artículos publicados (Figura 2).

Independientemente de ello, propongo un *índice de producción normalizado* (Pn) con respecto a la población. Para tal fin, he dividido el número de artículos

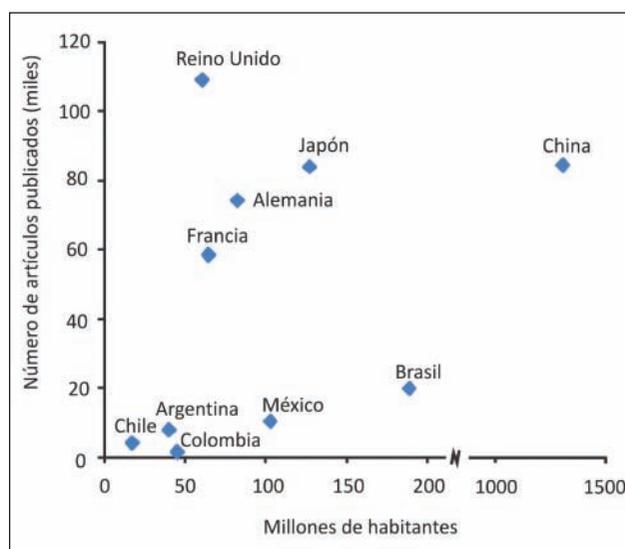


Figura 2. Variación en el número de artículos publicados en el campo de las ciencias ambientales versus el número de habitantes por país (datos de *Scopus*, 2008).

publicados de cada país (indizados en el campo de las ciencias ambientales) entre el número de millones de habitantes respectivo. Lo que se obtiene es que países como Reino Unido, Francia, Alemania y Japón tienen un Pn relativamente elevado, que oscila entre 659 y 1 801, mientras que los países de Latinoamérica y China tienen un Pn menor, que sugiere que su producción es inferior a 250 artículos por cada millón de habitantes (Figura 3). Chile y Argentina aparecen con 245 y 199 artículos, mientras que México se ubica con apenas 100 artículos por cada millón de habitantes. Esto indica de alguna manera que la producción científica en México en el campo de las ciencias ambientales es baja.

¿Qué está detrás del gigante chino?

La tasa de crecimiento alcanzada por México en el número de artículos publicados en revistas que inciden en algún aspecto de las ciencias ambientales es de 5.4 veces en los últimos 12 años. Aunque moderado, es probablemente el crecimiento más importante en la historia reciente de la ciencia en México.

Comparado con el crecimiento correspondiente de otros países de Latinoamérica, esta tasa de incremento es del mismo orden que la de Chile (5.2 veces), Colombia (5.5 veces) o Brasil (6.8 veces), pero es mayor que la de países desarrollados y que cuentan con una planta académica consolidada, como Reino Unido (2.4 veces), Francia (2.8 veces), Japón (3.0 veces) o Alemania (3.2 veces). Sin embargo, todas estas tasas de crecimiento son significativamente más bajas que la de China, país cuya investigación científica ha tenido en los últimos años un emergente y espectacular incremento.

En los últimos 12 años, la tasa de crecimiento de China en este rubro fue de 22.9 veces, es decir, el número de artículos indizados publicados por autores chinos pasó de 798 en 1996 a 18 mil 314 en 2008 (Figura 1). Este hecho, sorprendente y notable, no parece llamar tanto la atención de China como otros relacionados con sus impresionantes indicadores en el campo de la economía y la producción industrial. Pocas veces nos preguntamos: ¿por qué China es el líder de producción de camarón de cultivo y de numerosos productos

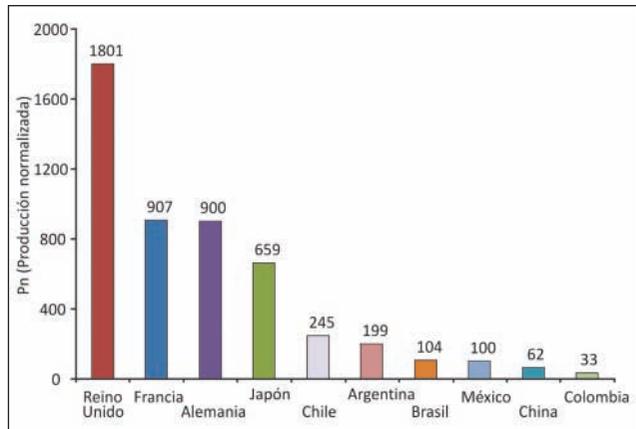
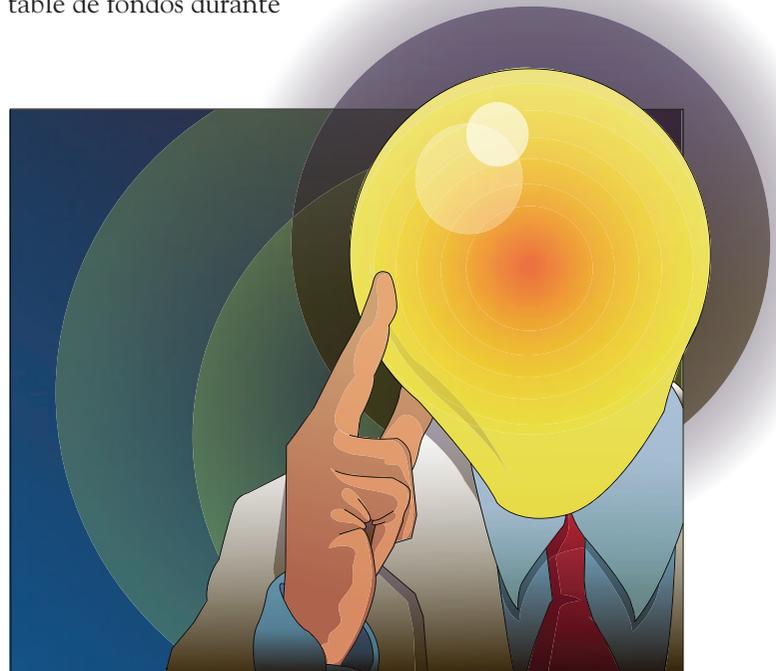


Figura 3. Producción de artículos por país en el campo de las ciencias ambientales, normalizada por la población (Pn), para el periodo 1996-2008 (datos de Scopus, 2008).

industriales? ¿Qué está detrás del gigante chino que no miramos?

Parte de la respuesta está en el enorme impulso y desarrollo que este país le ha dado recientemente a la investigación científica y tecnológica. China tiene una fuerza de trabajo en desarrollo e investigación científica del orden de los 32 millones, cifra que en la actualidad probablemente no tiene ninguna nación del mundo. La mayor estructura u organización de apoyo para la investigación de China, la Fundación Nacional de Ciencia China, ha atestiguado el incremento estable de fondos durante



los últimos once años, con un apoyo anual sin precedentes de alrededor de 3 mil millones de yuanes (6 mil millones de pesos mexicanos). Por su parte, el ministro chino de asistencia científica inició en 2007 el Programa Nacional de Investigación Básica, que abarca a su vez 973 programas, incluido uno para apoyar proyectos de ciencias ambientales. La Academia de Ciencias China ha sido también protagonista a través del Programa de Conocimientos e Innovación, por medio del cual apoya la investigación estratégica y básica, incluida un área sobre ciencias ambientales (Zhu y colaboradores, 2007).

¿En qué revistas se publica?

Las áreas o campos del conocimiento que cubren los distintos artículos científicos publicados por investigadores mexicanos en revistas sobre ciencias ambientales comprenden principalmente temas de revistas clasificadas dentro de las ciencias biológicas y agrícolas (33.8 por ciento), ciencias ambientales, directamente (30.4 por ciento), bioquímica, genética y biología molecular (16.2 por ciento), medicina (12.7 por ciento) y ciencias de la tierra (12.4 por ciento; Figura 4).

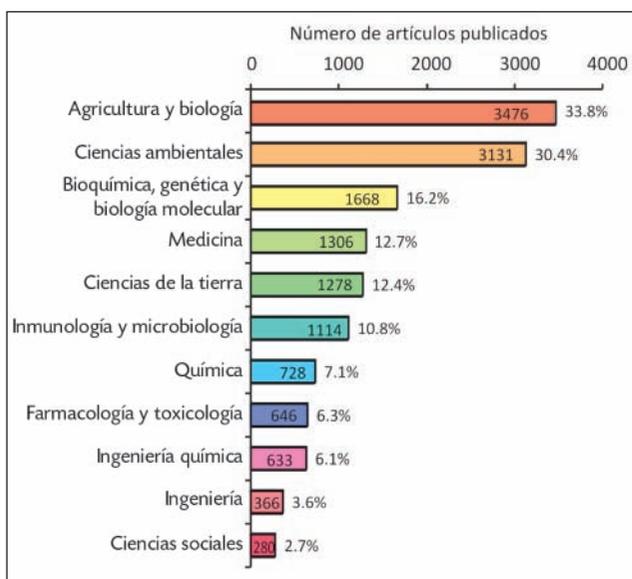


Figura 4. Número y porcentaje de artículos publicados por científicos mexicanos que contienen algún tópico de ciencias ambientales y que son clasificados también por el área del conocimiento principal que comprenden. Periodo 1996-2008 (datos de Scopus, 2008).

Entre las revistas científicas donde más han publicado los investigadores mexicanos en los últimos 13 años, y que comprenden tópicos de las ciencias ambientales, destaca *Water Science and Technology*, que contiene el mayor número de artículos y que alcanzó durante el periodo 1996-2008 un total de 149 artículos. Le sigue el *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, con poco más de 100 artículos. Las revistas *Interciencia*, *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, *Ciencias Marinas*, *Applied and Environmental Microbiology*, *Journal of Bacteriology*, *Salud Pública de México*, *Bioresource Technology* y *Revista de Biología Tropical* han publicado cada una entre 60 y 100 artículos para el mismo periodo (Tabla 1). Por su parte, en *Environmental Health Perspectives*, *Atmospheric Environment*, *Journal of Arid Environments*, *Aquaculture*, *Journal of Environmental Science and Health Part A*, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, *Revista Latinoamericana de Microbiología*, *Chemosphere*, *Environmental Pollution*, *Marine Pollution Bulletin*, *Hydrobiologia*, *Crop Science*, *Forest Ecology and Management*, *Geofísica Internacional*, *Biodiversity and Conservation* y *Environmental Science and Technology* han publicado entre 40 y 60 artículos en el periodo mencionado.

El parámetro conocido como *factor de impacto* es originalmente concebido para comparar las revistas en mercadotecnia y tomar una decisión para suscribirse a ellas. Pero recientemente se ha venido utilizando como un indicador adicional para evaluar a los científicos. Por otra parte, dada la enorme dificultad que representa evaluar cuantitativamente la calidad de las investigaciones científicas, muchas universidades del mundo toman sus decisiones para otorgar apoyos, financiamientos y promociones con base en el factor de impacto.

Aunque el factor de impacto ha sido considerado una herramienta valiosa para evaluar la importancia de la investigación científica, varios trabajos han demostrado los peligros de sobreestimar este factor (Gray y Hodkinson, 2008). Bajo tal consideración, los factores de impacto de las revistas donde publican los científicos mexicanos en el campo de las ciencias ambientales se pueden –en principio– emplear para darnos una idea de la calidad y el impacto de sus investigaciones. Las dos revistas donde se han publicado más

Tabla 1. Factor de impacto y número de artículos publicados por los científicos mexicanos en las principales revistas de ciencias ambientales desde 1996 a 2008*

Revista	Número de artículos	Factor de impacto
<i>Water Science and Technology</i>	149	1.240
<i>Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology</i>	106	0.563
<i>Interciencia</i>	96	–
<i>Revista Internacional de Contaminación Ambiental</i>	86	–
<i>Ciencias Marinas</i>	78	0.820
<i>Journal of Bacteriology</i>	77	4.013
<i>Applied and Environmental Microbiology</i>	67	4.004
<i>Salud Pública de México</i>	66	–
<i>Bioresource Technology</i>	64	3.103
<i>Revista de Biología Tropical</i>	62	0.274
<i>Environmental Health Perspectives</i>	59	5.636
<i>Atmospheric Environment</i>	54	2.549
<i>Journal of Arid Environments</i>	52	1.349
<i>Aquaculture</i>	51	1.735
<i>Journal of Environmental Science and Health Part A</i>	48	0.967
<i>Estuarine, Coastal and Shelf Science</i>	48	1.799
<i>Revista Latinoamericana de Microbiología</i>	46	–
<i>Chemosphere</i>	46	2.739
<i>Environmental Pollution</i>	45	3.135
<i>Marine Pollution Bulletin</i>	45	2.334
<i>Hydrobiologia</i>	45	1.201
<i>Crop Science</i>	45	1.151
<i>Forest Ecology and Management</i>	44	1.579
<i>Geofísica Internacional</i>	43	–
<i>Biodiversity and Conservation</i>	43	1.421
<i>Environmental Science and Technology</i>	41	4.363

* Scopus, 2008; Thomson Scientific's Journal Citation Reports, 2008.

de 100 artículos tienen un factor de impacto bajo (0.563) o moderado (1.240), si se compara con el de las revistas líderes de ciencias ambientales, que oscilan entre 3 y 4. Las revistas con el factor de impacto más alto y donde se ha publicado el mayor número de artículos son: *Journal of Bacteriology*, *Applied and Environmental Microbiology*, *Bioresource Technology*, *Environmental Health Perspectives* y *Environmental Science and Technology*. En *Science* y *Nature*, los científicos mexicanos han publicado 21 y 11 artículos, respectivamente. A partir de lo anterior, se puede concluir que el balance

sobre la calidad y el impacto de los artículos publicados es aceptable, pues cerca de 69 por ciento de ellos se han publicado en revistas cuyo factor de impacto es mayor a 0.820.

¿En qué instituciones están los autores?

Dentro del territorio mexicano, los estudios sobre los distintos aspectos de las ciencias ambientales son desarrollados por diversas instituciones de los sectores gubernamental, privado y universitario. Sin embargo, existe un limitado número de centros o institutos de investigación que han sido clave en la producción nacional de artículos científicos. La mayoría pertenecen a la Universidad Nacional Autónoma de México, el Instituto Politécnico Nacional, el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados, la Universidad Autónoma Metropolitana y el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. El total de artículos indizados en revistas clasificadas con algún elemento en ciencias ambientales con afiliación en estas cinco instituciones corresponde a 51 por ciento del total nacional publicado en los últimos 13 años (Tabla 2). Esto puede interpretarse como una debilidad, más que como una fortaleza de la investigación científica nacional, ya que está concentrada en estas cinco instituciones, y ello pone en evidencia la necesidad de desarrollar una política de desconcentración para favorecer a instituciones ubicadas a todo lo largo del territorio nacional.

¿Qué tamaño y productividad tiene la planta de investigadores?

Asumiendo que el número de autores de los artículos publicados en las revistas del campo de las ciencias ambientales registrados por la base de datos Scopus con 10 o más artículos se corresponde con el número de científicos activos del país (científicos consolidados que regularmente publican en el campo de las ciencias ambientales), tenemos que hay una evidente diferencia entre el número de científicos que tienen afiliación en algún país de América Latina y los llamados “desarrollados”; Brasil, Argentina, México y

Tabla 2. Número de artículos publicados en revistas con algún tópico de las ciencias ambientales, por investigadores de las instituciones mexicanas para el periodo 1996-2008*

Institución	Número de artículos	%
Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)	2 979	28.9
Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (Cinvestav)	679	6.6
Instituto Politécnico Nacional (IPN)	671	6.6
Universidad Autónoma Metropolitana (UAM)	522	5.1
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (Cibnor)	356	3.5
Instituto Mexicano del Petróleo (IMP)	330	3.2
Instituto de Ecología, A.C. (Inecol)	269	2.6
El Colegio de la Frontera Sur	260	2.5
Instituto Nacional de Salud	246	2.4
Colegio de Postgraduados	230	2.2
Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE)	216	2.1
Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo	207	2.0
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias	192	1.9
Universidad de Guadalajara	182	1.8
Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares	168	1.6
Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo	168	1.6
Universidad Autónoma de Baja California	162	1.6
Instituto Mexicano del Seguro Social	162	1.6
Universidad Autónoma de Nuevo León	145	1.4

* Scopus, 2008.

Si México pretende desarrollarse plenamente, requiere de programas de desarrollo de la investigación científica mucho más ambiciosos, a más largo plazo y debidamente planificados

Chile tienen alrededor de 210, 200, 170 y 140 científicos, respectivamente, mientras que Reino Unido, Alemania y Japón tienen entre 420 y 460 científicos. Estas cifras indican que, proporcionalmente, los países desarrollados tienen entre 2 y 3 veces más investigadores dedicados a las ciencias ambientales que los países líderes de Latinoamérica.

Otro aspecto que llama la atención es la diferencia en la proporción de la producción de artículos en relación con el tamaño de las plantas académicas; tomando como base la producción de 2008, se halla que países como Alemania, Japón y Reino Unido tienen entre 3.0 y 8.4 veces más artículos que los que publicaron México y Brasil. Esto se debe a un efecto combinado del tamaño de la planta académica y de la productividad promedio por investigador, que desde luego es mayor en las naciones desarrolladas.

Retos y perspectivas

El reciente incremento en el número de artículos publicados en el campo de las ciencias ambientales en México ha sido resultado probablemente de un conjunto de factores diversos, incluida la relativamente reciente introducción de iniciativas y programas nacionales que han logrado promover la investigación científica. El Sistema Nacional de Investigadores y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología han sido dos instituciones importantes que, de alguna manera, se han constituido en una palanca para el desarrollo de la ciencia y la tecnología de México.

Sin embargo, aunque los esfuerzos realizados por la estructura mexicana (incluidas universidades y secretarías de gobierno) durante los últimos 20 años son importantes y meritorios, son todavía insuficientes, considerando la extensión territorial y la población del país. Si México pretende desarrollarse plenamente, requiere de programas de desarrollo de la investigación científica mucho más ambiciosos, a más largo plazo y debidamente planificados. La tarea por hacer ni siquiera es novedosa: ya la han implementando exitosamente algunas naciones asiáticas. Lo que falta es simplemente decidirnos. Los tomadores de decisión, sin embargo, son quienes tienen la última palabra.

No obstante la cercanía de México con Estados Unidos, las diferencias culturales y de lenguaje, aunadas a los distintos problemas y necesidades domésticas para desarrollar el trabajo de investigación (mal equipamiento e insuficiente presupuesto) en una nación donde urge siempre resolver los llamados “grandes problemas nacionales”, es meritorio destacar el papel que los científicos mexicanos han jugado en estos últimos 12 años. Varios colegas mexicanos colaboran como miembros de comités editoriales de reconocidas revistas internacionales, como asesores de organizaciones internacionales, y muchos de ellos han demostrado su capacidad para desarrollar proyectos de carácter internacional en activa colaboración con líderes mundiales en disciplinas relacionadas con el cambio climático y el monitoreo de la contaminación costera, entre otros.

En los siguientes años, son varios los retos que tendrán que enfrentar la comunidad científica y el sistema gubernamental de México en ciencia y tecnología, incluidos aquellos aspectos relacionados con la creación de mecanismos que, por un lado, promuevan la formación de un mayor número de científicos calificados y, por el otro, estimulen el trabajo colectivo sobre las grandes prioridades nacionales en los diferentes campos del conocimiento, con componente académica y compromiso de publicar en más y mejores revistas. De esta manera se logrará no sólo el reconocimiento de nuestros pares internacionales, sino se garantizará una mayor calidad científica y, con ello, finalmente, apalancar el desarrollo del país.

Agradecimientos

A M. C. Ramírez Jáuregui y a G. Ramírez Reséndiz por su ayuda para consultar las bases de datos bibliográficos y por la elaboración de figuras, respectivamente.

Federico Páez-Osuna es doctor en ciencias e investigador titular en el Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (ICML) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Su área de investigación es la geoquímica marina y ambiental. En 2003 recibió el Premio al Mérito Ecológico. Actualmente es miembro de El Colegio de Sinaloa y jefe de la Unidad Académica Mazatlán del ICML.

paezos@ola.icmyl.unam.mx



Lecturas recomendadas

Gray, E. y S. Z. Hodkinson (2008), “Comparison of journal citation reports and scopus impact factors for ecology and environmental sciences journals”, *Issues in science and technology librarianship*, 1-6.

Scopus (2008), <http://www.scopus.com> (consultado el 18 de diciembre de 2008).

Zhu, Y. G., P. O'Connor y J. H. Cao (2007), “Where do Chinese scientists publish their research in environmental science and technology?”, *Environmental pollution* 147, 1-3.