

Las ciencias de la Tierra



Es verdad que todos los planes nacionales sin excepción, incluido el actual, prometen un fuerte incremento de las inversiones en ciencias de la Tierra. ¿Por qué no cumplen?

Cinna Lomnitz

El enorme cambio científico que se ha producido en los recientes cincuenta años no deja de tener sus secuelas en nuestra manera de ver el planeta que habitamos. Y esto es natural. Lo mismo sucedió hace algunos siglos con la revolución copernicana. La diferencia es que el conflicto ahora se ha trasladado desde la esfera religiosa a la política y económica.

Hoy sabemos que la actividad humana está incidiendo sobre fenómenos geofísicos de importancia inmediata para el ambiente, para las naciones y para el público en general, como el clima, la radiación solar o el nivel de los océanos. En cambio, antes de los años cincuenta la ciencia consideraba que el cambio geofísico era extremadamente lento y paulatino. Se pensaba que los continentes y los mares eran eternos e inamovibles, o en todo caso se creía que se modificaban al ritmo lentísi-

mo de las eras geológicas y no según la escala de la vida humana.

Todo eso cambió hacia 1967, y México ha participado y está contribuyendo activamente a esta revolución científica con las aportaciones de hombres y mujeres del más alto nivel intelectual. En esta breve reseña intentaré poner en perspectiva algunos avances logrados en nuestro país y encuadrarlos en el panorama de la ciencia mundial.

ALGUNAS CONSIDERACIONES FILOSÓFICAS

El auge de la filosofía de la ciencia en el siglo XX ha contribuido a problematizar el lugar que ocupan las ciencias de la Tierra en el concierto de las disciplinas científicas. El desarrollo de las ciencias de la Tierra fue más tardío que el de otras ciencias. Los primeros geólogos de fines del siglo XVIII y principios del siglo XIX se llamaban “naturalistas”, y sus intereses se extendían a la zoología, la botánica y las ciencias naturales en general. Hoy las ciencias de la Tierra disfrutan de prioridad en los programas de la Fundación Nacional de Ciencias de Estados Unidos, y en los de otros

países industrializados. Rebasaron la relevancia de disciplinas más antiguas, como la física y la astronomía. En México, en cambio, su prioridad asignada fue siempre la última o la penúltima.

Así sucedió con el primer Plan Nacional de Ciencia y Tecnología de 1970, antecesor del Conacyt. El presupuesto para las ciencias de la Tierra en el periodo de 1971-1976 fue un tercio del correspondiente a las ciencias sociales, aunque, si bien se mira, estas ciencias no requieren inversiones caras en redes sísmicas o en laboratorios de geocronología isotópica. En aquella época se me ocurrió protestar: “Con las prioridades que se han mencionado y que me parecen claramente insuficientes, estimo que México podrá autoabastecerse de células grises para sus recursos naturales dentro de quince o veinte años” (Lomnitz, 1974). Entonces pensaba que mi predicción era excesivamente pesimista, pero ahora resulta que no fue lo suficiente.

México subsiste gracias a la abundancia de sus recursos naturales: aguas subterráneas, energía hidroeléctrica, minería y petróleo; pero estos recursos no son inagotables. Pese a ello, persiste una inexplicable falta de interés por los conocimientos que podrían garantizar nuestra independencia económica y el bienestar de nuestra nación. Tal actitud de indiferencia se extiende a problemas candentes como el riesgo sísmico y el grave deterioro del ambiente natural, con sus secuelas de inundaciones, envenenamientos, incendios y erosión.

Es verdad que todos los planes nacionales sin excepción, incluido el actual, prometen un fuerte incremento de las inversiones en ciencias de la Tierra. ¿Por qué no cumplen? Posiblemente, por el *Efecto Mateo*: al que tiene se le dará más y al que no, se le quitará lo poco que tiene. El esfuerzo de doctorarse en ciencias de la Tierra no es trivial: hay que pensar en una inversión mínima de diez años de arduos estu-



dios. Se necesitan jóvenes altamente motivados. Además, el ejercicio de esta profesión comporta un alto grado de responsabilidad. Un accidente o un error en la perforación de un pozo petrolero en la Sonda de Campeche cuesta millones de dólares. La negligencia o la mala información en la aplicación de medidas de seguridad sísmica en el Distrito Federal o en Laguna Verde son errores que cuestan muchas vidas humanas. Sin embargo, los sucesivos gobiernos (y los respectivos Consejos de Ciencia y Tecnología) parecen no haberse percatado, o mejor dicho,

planteado tales reflexiones. Se trata de un círculo vicioso: al no haber incentivo para estudiar las ciencias de la Tierra

no hay masa crítica, y no hay quien recuerde a los gobernantes mexicanos que existen estas deficiencias. Se necesita una visión

Sin ciencias de la Tierra nunca habrá una ciencia nacional vigorosa y relevante

mucho más aguda y sobria de la realidad del país. De lo contrario, nunca tendremos las ciencias de la Tierra que México necesita y merece. Y sin ciencias de la Tierra, nunca habrá una ciencia nacional vigorosa, importante y relevante.



**Por excelente que sea
la Universidad de Harvard,
no tendrá nunca
un departamento
de geología de México.
Lo tenemos
que crear nosotros**

¿QUÉ SON LAS CIENCIAS DE LA TIERRA?

Los filósofos, cuando hablan de ciencia, piensan en la física y las matemáticas, nunca en la geofísica. Parece que compartieran el punto de vista de ciertos gobiernos, que pisan sobre nubes y consideran a la humilde Tierra como un objeto indigno de su atención.

Frodeman (1995) tiene el valor de zambullirse en el marasmo intelectual de los detractores de la geología, a la que han denunciado como una ciencia “sintética”, hecha de remiendos por partes iguales de física, química y biología. La culpa sería en parte nuestra: precursores como Beno Gutenberg (1925) definieron a la geofísica como “una rama de la física aplicada que se ocupa del planeta Tierra”. Pero la geofísica no es rama de nada. Es otra cosa.

El punto de vista de Frodeman consiste en proponer que las ciencias de la Tierra son históricas y hermenéuticas —a diferencia de la física, que sería objetiva y experimental—. Me parece un punto de vista extremo. No hay tal diferencia fundamental entre dos disciplinas científicas. Todas las ciencias son interpretativas, cual más, cual menos, y todas son históricas. Existe, sin duda, un pensamiento geológico que es diferente del pensamiento físico. Frodeman cita a Heidegger: el mundo es un *texto* que el científico debe saber leer e interpretar.

En el Sistema Nacional de Investigadores, cuando se trataba de evaluar a los geólogos que deseaban ingresar, los físicos no entendían que un mapa geológico debe valorarse al mismo nivel que un artículo de investigación. Para ellos, un mapa era un dibujo que cualquiera puede pintar; para el geólogo, es la forma más elevada de la interpretación geológica. Es el producto de meses y a veces años de arduo trabajo de campo y de profunda reflexión creativa.

Frodeman afirma que en geología hay conceptos específicamente históricos tales como “la orogenia larámide, el ca-

nal marítimo occidental del Cretácico, las calizas de Bridge Creek o la especie *Mytiloides mytiloides*". Pero no es casualidad que estos ejemplos fueran tomados de la geología de Estados Unidos y que a nosotros no nos digan gran cosa. Ésta es la diferencia que yo quisiera subrayar. Las ciencias de la Tierra, en efecto, son diferentes de la física o de la biología, porque aquéllas son locales o regionales. La física es una y la misma, aquí y en todas partes. Es una ciencia global. Las ciencias de la Tierra siempre traen un adjetivo de lugar. A mi modo de ver, ésta es la diferencia fundamental.

Nunca se va a poder globalizar la geología. La Tierra no es igual de un sitio a otro. Su historia geológica es diferente, sus rocas son diferentes, los fósiles, los volcanes, todo es diferente. México es diferente. Entiéndase bien, los procesos fundamentales son los mismos, pero nadie puede alcanzar un doctorado en geofísica sin trabajar en algún sitio específico. Por excelente que sea la Universidad de Harvard, no tendrá nunca un departamento de geología de México. Lo tenemos que crear nosotros, con nuestro esfuerzo, con nuestros estudiantes, con nuestros recursos, aquí y no en otra parte. Nadie lo hará por nosotros.

La física seguirá su curso; la biología avanzará con o sin nosotros. La geología no. A menos que nos pongamos a trabajar en serio para explorar nuestro país, México continuará siendo en gran parte un área en blanco en el mapa geológico mundial. No habrá despegue científico si no se crea la infraestructura (servicios geológicos federal y estatales, escuela nacional de ciencias geológicas, institutos nacionales de recursos naturales y de prevención de desastres, universidad del petróleo) para el desarrollo de las ciencias de la Tierra en México.

SURGE UN PARADIGMA

La evidencia básica que logró que se aceptara la idea de que los continentes estaban moviéndose sobre la superficie terrestre no se aportó sino hasta 1963. Desde luego, no faltaron precursores como el gran Alfred Wegener, y antes que él Charles Darwin, cuyas contribuciones como geólogo han sido injustamente olvidadas.

Vine y Matthews, en un artículo histórico en la revista *Nature*, describieron en 1963 cómo las franjas de anomalías magnéticas que habían medido en una expedición geofísica en el Océano Atlántico formaban un diseño simétrico a ambos lados de la cresta montañosa submarina. De repente to-

dos nos dimos cuenta de que el fondo de los océanos es material volcánico recién expulsado de la cresta submarina y que las marcas magnéticas son como grabaciones de las fluctuaciones del campo magnético terrestre. Cuatro años más tarde, en un despliegue de creatividad, grupos de científicos de Canadá, Estados Unidos, Inglaterra y Francia contribuyeron independientemente con la aportación de las piezas vitales del rompecabezas que hoy se conoce como *tectónica de placas*.

Como consecuencia del movimiento del piso submarino, las costas de América y Europa se van alejando mutuamente. En cambio, el área ocupada por el Océano Pacífico se encoge. Se trata de centímetros por año, cantidades que antes no se podían medir, pero que ahora representan velocidades apreciables del cambio geológico. Bajo la

**Bajo la costa del Pacífico
existe *subducción*,
es decir, el fondo oceánico
es tragado por
el continente**

costa del Pacífico existe *subducción*, es decir, que el fondo oceánico es tragado por el continente. Ésta es la causa de los sismos y de las erupciones volcánicas.

Como el instituto Mexicano del Petróleo (creado en 1965) y los Institutos de Geología y de Geofísica de la UNAM no se daban abasto, se fundaron grupos de investigación en otros puntos de la república, tales como el Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada (CICESE) en Ensenada, Baja California (1971). Pero las dependencias más antiguas han cambiado poco. Hoy el Servicio Sismológico Nacional constituye una anomalía a nivel mundial, porque sigue siendo manejado por una universidad, la UNAM, en vez

Hemos visto cómo en el breve plazo de una década cambiaron los conceptos científicos sobre la Tierra en un sentido fundamental

de ser una dependencia pública. La creación, después del sismo de 1985, del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), fue un progreso alentador. Se trata de un centro federal, pero no tiene autoridad para realizar investigación. Para un país minero y petrolero de la importancia de México, que además se enfrenta al grave peligro de las amenazas sísmicas y volcánicas, una base institucional tan estrecha es insuficiente e inconveniente.

Hemos visto cómo en el breve plazo de una década cambiaron los conceptos científicos sobre la Tierra en un sentido fundamental. Gracias al esfuerzo de un puñado de visionarios se produjo un cambio de paradigma radical e irreversible, que afecta toda nuestra visión como investigadores en ciencias de la Tierra. En México, desde los años setenta hemos sido constantemente rebasados por los acontecimientos. Es verdad que hemos logrado instalar redes de observación en el territorio nacional, pero no nos damos abasto para analizar las enormes cantidades de datos que estamos recabando. Además, el cuadro de la ciencia mundial ha cambiado.

EL SISMO DE 1985

El 19 de septiembre de 1985 se produjo un sismo de magnitud 8.1 en las costas de Michoacán, que afectó con especial dureza al Distrito Federal, a una distancia de 400 ki-

lómetros. Nadie sabe cuántos miles fueron los desaparecidos en ese sismo. Nunca se sabrá.

Los desastres naturales cobran miles de víctimas inocentes todos los años. Es peligroso que nos acostumbremos a ello, y que lo aceptemos. ¿Es esto necesario? Antes se afirmaba que los desastres se debían a la cólera y a la justicia divinas, pero esta idea ya no concuerda con nuestro concepto de la divinidad. Sin embargo, seguimos sin hacer nada, o no lo suficiente, para prevenir tanta desgracia.

El número de muertos en el sismo de 1985 pudo haber ascendido a 17 mil, aunque oficialmente se reconocen 10 mil. Las empresas de seguros sabían desde antes del sismo cuáles serían los daños, y estaban preparadas; no lo estaba el gobierno. Hoy existen organismos de defensa civil, y es bueno que existan; pero su función es intervenir después del desastre, y es poco lo que pueden hacer para rescatar a víctimas enterradas bajo toneladas de concreto armado. En realidad, la situación ha cambiado poco. Hay nuevas normas de construcción del Distrito Federal, y en verdad son más exigentes; pero subsisten numerosos edificios anteriores al temblor de 1985, de modo que es concebible que el número de víctimas en el próximo sismo sea similar. Urge hacer una estimación realista de los costos humanos y materiales de un futuro sismo fuerte en el Distrito Federal.

Los sismos de subducción que se originan regularmente en la costa del Pacífico afectan al Distrito Federal en forma predecible. Las ondas de "coda" de 2 a 2.5 segundos de periodo sólo dañan edificios de 7 a 18 pisos de altura en suelos blandos lagunares, en la parte baja del valle. Después del sismo de 1985 surgió una rivalidad muy positiva entre los especialistas, tanto mexicanos como extranjeros, para tratar de explicar estas ondas. Hoy el interés ha decaído. ¿Hubo intereses creados de por medio? Los expertos extranjeros habían objetado y criticado la calidad de la construcción mexicana, muchas veces injustamente. Como una reacción natural, hubo línea por parte nuestra para desacreditar cualquier sugerencia de que pudiera existir algún factor inesperado en la catástrofe de 1985.

Pero ¿no será mejor así? ¿Por qué revivir sin cesar las controversias de 1985? Es que las cuestiones básicas no están resueltas, y tenemos con las víctimas, pasadas y futuras, el deber de esclarecer la naturaleza de un tipo de onda sísmica que nadie entiende y que algunos ya no quieren entender. La naturaleza de esta onda no fue tomada en cuenta en las normas sísmicas, precisamente por tratarse de un fenómeno

controvertido y mal comprendido. Tal actitud no es nueva. A partir del sismo de 1957 y en cada sismo fuerte, se modifican las normas sísmicas y se repite el *mantra* de que, ahora sí, estamos a salvo de futuros sismos.

¿Qué es esta onda desconocida y mortífera? ¿Es una onda de superficie, y en este caso, de qué tipo? ¿Es una resonancia? ¿Una onda viajera? ¿Qué velocidad tiene? ¿Existe en todo el valle, o nada más en la capa blanda? Francamente, no lo sabemos. Al ignorar la causa, ignoramos también el remedio para prevenir los destrozados producidos por el sismo. Y al ignorar el remedio nos exponemos a interminables repeticiones de catástrofes sísmicas en la Ciudad de México.

Los científicos somos responsables de esta situación, porque nuestra voz no se escucha, y contribuimos a perpetuar la impresión errónea entre los tomadores de decisiones de que estos problemas ya han sido resueltos en Estados Unidos. Hay funcionarios preocupados por la vida y por los bienes de los habitantes del Distrito Federal, pero son pocos, necesitan más apoyo y no siempre están bien informados. Los escasos fondos disponibles se reparten sin ningún criterio claro de utilidad social. No se prioriza lo importante, que es la vida y la seguridad de los ciudadanos. Hay un *ombudsman*, hay organizaciones no gubernamentales que se preocupan por los derechos de los delfines en los mares, pero ¿quién se ocupa de los humildes habitantes de la ciudad más grande y más insegura del mundo? ¿Realmente no existirá otro remedio que morir aplastados en el próximo sismo?

EL RIESGO SÍSMICO

El derecho a la seguridad es un derecho humano. Hay ciudades latinoamericanas como Lima, con millones de marginados hacinados en su periferia en condiciones de vivienda desastrosas y con una historia de catástrofes sísmicas tan trágica como la de México. Pero la Ciudad de México es reconocida mundialmente como un caso excepcional. A diferencia de Lima, aquí el riesgo sísmico se ceba exclusivamente en los edificios altos diseñados y construidos por ingenieros.

La autoconstrucción es relativamente segura porque suele ser de altura menor a siete pisos. Los edificios coloniales no se caen porque se pegan al suelo y tienen mucha redundancia estructural. En cambio, basta que se rompa una columna en un edificio moderno para que se caiga toda la estructura. La tecnología de edificios altos fue desarrollada en zonas de bajo riesgo sísmico, como Nueva York o Chicago. Se caracteriza

por el diseño de estructuras aéreas, atrevidas y vulnerables.

¿Por qué las utilizamos en México? ¿No tuvimos suficiente oportunidad para desarrollar tecnologías constructivas adaptadas a nuestras propias condiciones de riesgo sísmico y de subsuelo? Si hubiéramos aprovechado esta oportunidad, hoy seríamos líderes en ingeniería para condiciones de suelo blando, y estaríamos compitiendo por obras importantes en Taiwán, Turquía o el este de Canadá. Pero preferimos imitar las modas estadounidenses. Hoy nuestra ingeniería no tiene desarrollo tecnológico ni competitividad, y esto nos parece injusto porque la nuestra es una buena ingeniería. No basta. Carece de aportes propios y por eso está siendo desplazada por las empresas de allende el Bravo.

El experto en desarrollo internacional Jeffrey Sachs, de la Universidad de Harvard, dijo recientemente que “el progreso económico a largo plazo depende de la generación de un nuevo espíritu de competitividad cimentado en la investigación, la tecnología y una mayor inversión en educación. Pero entre hoy y mañana hay un abismo que es necesario cruzar”.

La autoconstrucción es relativamente segura porque suele ser de altura menor a siete pisos

Humboldt, padre de la geografía de América, en México realizó las primeras mediciones geodésicas modernas

ALGO DE HISTORIA

Alexander von Humboldt, padre de la geografía de América, visitó México entre 1803 y 1804 y realizó aquí las primeras mediciones geodésicas modernas. También compartió la vida social frívola y decadente de fines del Virreinato, y la describió con agudeza en sus apuntes sobre las condiciones y las costumbres de nuestro país. Sin embargo, hubo un rasgo que, según Humboldt, compartimos los mexicanos con los habitantes de otras comarcas de América Latina. Nunca nos fijamos en la naturaleza que nos rodea. Somos más proclives a imaginar el mundo como debería ser, que a analizar la realidad. Hoy, 200 años después de su visita, Humboldt sigue teniendo la razón porque estamos rodeados de montañas que no hemos ascendido, de mares que nunca hemos cruzado y de recursos naturales que yacen sin ser descubiertos o aprovechados.

La geología es la clave, porque es una ciencia que busca lo general en lo particular. Sus leyes están hechas de excepciones. No es posible estudiar geología sin salir al campo, sin subir las montañas o sin atravesar los desiertos. Al iniciarse el siglo XX México había producido geólogos distinguidos y famosos como Ezequiel Ordóñez, descubridor del petróleo en la Faja de Oro. Con esto, don Ezequiel se ganó la enemistad de su jefe, José Guadalupe Aguilera, quien había informado al presidente Díaz que las chapo-

poteras de la costa del Golfo carecían de importancia económica. Ordóñez se fue a trabajar para las empresas estadounidenses, que lo recompensaron ampliamente por su talento. Años más tarde, ya estando jubilado, fue llamado por Cárdenas para ayudarlo a sacar adelante el petróleo nacionalizado; pero falleció poco tiempo después. Los geólogos van y vienen, pero aún carecemos de un texto general, fundamental, sobre la geología de México —aunque se han publicado algunos textos parciales—.

Fueron también ingenieros mexicanos quienes, en 1972, descubrieron los grandes yacimientos del Cretácico en el sureste, que hoy constituyen nuestras reservas petroleras. PEMEX se olvidó de sus nombres, como si fuera poca cosa haber contribuido a forjar la principal riqueza económica del país. Los campos gigantes bajo la Sonda de Campeche son de tamaño comparable a los de Venezuela o del Golfo Pérsico. Fue la nacionalización de 1938 la que hizo posible el que los beneficios de este recurso fluyeran directamente a las arcas del gobierno. Lástima que nunca sobra lo suficiente para que la industria petrolera mexicana tuviera la independencia económica y técnica necesaria para desarrollarse de manera autónoma y competitiva.

Los recursos hidroeléctricos de México son también importantes y bien aprovechados, aunque menores en comparación con los de otros países como Perú. Ya no quedan muchas opciones hidroeléctricas por aprovechar. Debido a las enormes distancias que existen entre las grandes presas de Chiapas y los principales centros de consumo, la energía se encarece. Finalmente, se jugó la carta nuclear. Afortunadamente, nos fue bien, pero nos tardamos 25 años en diseñar y construir la planta de Laguna Verde, que hoy se acerca al ocaso de su vida útil. ¿Será reemplazada o renovada? Es poco probable. Finalmente, la energía geotérmica ha sido desarrollada con cautela, y por eso no cubre una fracción importante del consumo. Un balance revela que México es un importante exportador de petróleo crudo a nivel mundial y un importador de gasolinas y productos refinados del exterior. El cuello de botella, una vez más, ha sido el bajo desarrollo tecnológico y educativo.

Hacia fines del siglo XX, se produjo un excedente mundial de materias primas, incluyendo el petróleo. El bajo precio internacional desanimó a los países productores y aceleró la apertura de los mercados, ya que la dependencia del precio del petróleo fue vista como una grave debilidad. Con esto, no hubo suficiente desarrollo de fuentes de energía alternativa

(como la geotérmica y la solar), que abundan en nuestro país, y se precipitó una crisis ambiental que resulta cada vez más difícil de manejar. México, con más de cien millones de habitantes y sin una pauta consistente de desarrollo sostenible, sobre todo en el campo, se ha ido transformando en país exportador de su propia población.

Hoy las ciencias de la Tierra se han transformado a nivel mundial, y la geofísica ambiental es el campo de mayor desarrollo. Este campo atrae a la mayoría de estudiantes en países como Alemania, Francia, Inglaterra y Estados Unidos. En nuestro país apenas se inicia. Universidades tradicionales como la UNAM aún carecen de las carreras de geólogo o geofísico a nivel de licenciatura. Las especialidades ambientales apenas comienzan a desarrollarse con timidez en el posgrado.

¿Y los logros? Ya lo dijimos: hemos tenido éxitos nada despreciables. En tiempos de don Porfirio Díaz, México fue un importante productor de plata y cobre; después vinieron el tungsteno y la fluorita. Dos congresos geológicos internacionales se organizaron en México. Somos sede de uno de los más antiguos servicios sismológicos y fuimos uno de los países fundadores de la Asociación Internacional de Sismología. Actualmente, la sismología mexicana es muy activa y contribuye regularmente a la literatura científica internacional. En épocas más recientes, se han desarrollado otros campos importantes de la geofísica como el paleomagnetismo, la vulcanología, la geoquímica y el estudio de las aguas subterráneas. Hay otras áreas que dependen de inversiones sustanciales, como la oceanografía y la meteorología, y que también deberán apoyarse para que alcancen el desarrollo que se espera de un país importante, con gran territorio y enormes costas.

El Instituto de Geología de la UNAM es más que centenario, es decir, fue creado antes de la Universidad Nacional y se incorporó a ella posteriormente. Fue fundado como servicio geológico de México, y continúa desempeñando algunas funciones de servicio nacional. Pero este país es demasiado grande y complejo para que pueda ser cubierto con un puñado de geólogos, por excelentes que sean. Después de la decadencia de la minería nacional, el interés por la geología económica se ha desvanecido, y hoy se trabaja principalmente en campos de investigación como cartografía, estratigrafía y paleontología del Cretácico y del Terciario, edafología,

palinología, geología estructural y geocronología, entre otros.

Los estudios de geología y geofísica petroleras se realizan principalmente dentro de PEMEX y en el Instituto Mexicano del Petróleo. La empresa se acostumbró a contratar



**La geología es la clave,
porque es una ciencia que
busca lo general en lo
particular**

Fueron ingenieros mexicanos quienes, en 1972, descubrieron los grandes yacimientos del Cretácico en el sureste, que hoy constituyen nuestras reservas petroleras

los servicios de expertos y de empresas de exploración extranjeras cada vez que necesitaba resolver problemas puntuales. Esto le asegura un buen nivel técnico en el plano operacional, pero la priva de una vinculación más estrecha con las universidades. Desde el punto de vista académico, y por obvias razones históricas, el acceso a la empresa ha sido más bien restringido. A diferencia de otros países latinoamericanos, donde la cooperación entre las empresas petroleras nacionales y las universidades suele ser más relajada, todavía es escaso el número de doctorados en estudios petroleros. En años recientes, la contratación de PEMEX ha disminuido drásticamente.

En las instituciones académicas existe por el momento una situación de saturación de plazas disponibles que se antoja artificial, ya que hay una demanda de educación superior sin precedentes en el país. Es el momento de actuar de manera decisiva para abrir las perspectivas de estudio y de trabajo en ciencias de la Tierra a una juventud vital y hambrienta de desafíos. Los grandes problemas del ambiente están esperando ser resueltos.

Mucho es lo que hay que hacer, y no todo corresponde al Estado. Estamos en los inicios de un nuevo régimen político y se ha conjeturado que la educación superior reviste escasa prioridad. Es verdad que no todos los becarios que regresan de sus estudios encuentran trabajo, y que hay algunos que prefieren quedarse en el extranjero. Pero este cuadro no configura una situación de crisis latente en las ciencias de la Tierra. Lo que pasa es que la nueva administración no desea entrar al "dirigismo" de los gobiernos anteriores, y prefiere ser tachada de indiferente antes que de autoritaria. En el caso de la educación, donde existen problemas antiguos y muy arraigados, esta negligencia puede resultar fatal. No tardarán en presentarse situaciones que exigirán acciones decisivas. Pero nada de eso justifica el escepticismo y mucho menos el pesimismo de la comunidad académica. Las acciones vendrán a su debido tiempo.

En efecto, la contribución de la comunidad académica mexicana ya es indispensable, tanto a nivel nacional como mundial. Somos pocos, pero no se nos podrá ignorar. La vida de la ciencia mundial tiene su propia dinámica que se impone a las decisiones políticas del momento. Esto se aplica especialmente a las ciencias de la Tierra, por la importancia que revisten para el desarrollo del país. La crisis ambiental y petrolera que estamos enfrentando no puede resolverse sin el concurso de una comunidad científica activa y de buen nivel.

Por último, vale la pena recordar: México siempre ha constituido un campo atrayente de actividad científica y profesional para los geólogos y los geofísicos de origen extranjero. A partir de la histórica visita de Humboldt, la existencia de un país enorme y virtualmente inexplorado al otro lado del océano ha representado un desafío irresistible para muchos científicos europeos, que han contribuido en forma destacada al conocimiento de nuestro país. Por ejemplo, en los institutos de geología y de geofísica de la UNAM existe un fértil terreno de interacción entre especialistas nacionales y científicos provenientes de otras partes del mundo, tanto visitantes como permanentes. Esta convivencia internacional ya ocurre ahora y ha sido siempre cordial. Nunca ha ocasionado problema alguno. Necesitamos ampliar y desarrollar la oportunidad de abrir nuestras aulas de par en par a científicos y estudiantes extranjeros, y beneficiarnos con la afluencia de talento de todo el mundo para impulsar vigorosamente nuestro avance tecnológico, como ya lo han hecho otros países.

Algo de esto ya está ocurriendo en algunos centros de investigación en ciencias de la Tierra, como el CICESE. Dejemos las caras largas y comencemos, con o sin el apoyo del gobierno, a desarrollar el futuro que queremos. Desde cualquier ángulo que se mire, puede decirse que las ciencias de la Tierra representan un excelente punto de partida para las futuras políticas de modernización y fortalecimiento que decida implementar la comunidad científica en México.

BIBLIOGRAFÍA

- Frodeman, R. (1995), "Geological reasoning: Geology as an interpretive and historical science", *Bull. Geol. Soc. Am.*, 107:960-968.
- Gutenberg, B. (1925), *Handbuch der Geophysik*, Heidelberg, Springer.
- Lomnitz, C. (1974), *Global Tectonics and Earthquake Risk*, Amsterdam, Elsevier, 320 pp.

Cinna Lomnitz es doctor en ciencias e investigador titular en el Instituto de Geofísica de la UNAM. Su interés central es la investigación de "ondas sísmicas exóticas" como las que causan daños en edificios de la Ciudad de México. Entre sus libros publicados destacan *Fundamentals of Earthquake Prediction* (John Wiley, 1994) y *Seismic Risk and Engineering Decisions* (Elsevier, 1976).

**Es el momento de abrir
las perspectivas
de estudio y de trabajo
en ciencias de la Tierra
a una juventud vital
y hambrienta de desafíos**