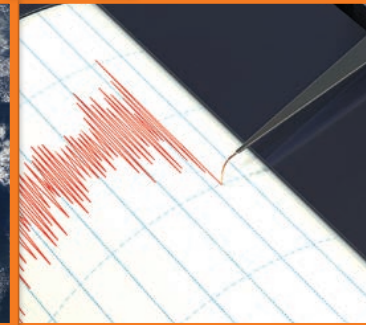


INSTITUTO DE GEOFISICA



75 ANIVERSARIO-IGEF-
UNAM



gEOFISICA
UNAM

UNAM
La Universidad
de la Nación



Boletín informativo de la Coordinación de la Investigación Científica.
Ciudad Universitaria, número especial.

03 Los 75 años
del Instituto de Geofísica

04 El Instituto de Geofísica
y su proyección en el
contexto nacional

06 Una historia
de logros y de retos



09 Radiación solar.
La energía de la vida



12 Ciencia subterránea:
Geomagnetismo y
exploración



14 Sin Sol no hay vida



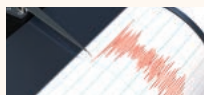
16 Conocer y aprovechar
los recursos



18 Enseñanzas
de los volcanes



20 La génesis de los
sismos en México:
el Departamento de Sismología



22 La Unidad Michoacán del
Instituto de Geofísica

25 Los Servicios Geofísicos
de la UNAM: un apoyo
a la sociedad

26 El incesante movimiento
de la Tierra y el Servicio
Sismológico Nacional



30 El Servicio Magnético
de la UNAM



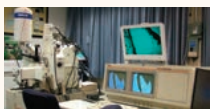
33 Mapas de irradiancia.
El Servicio Solarimétrico
Mexicano



36 Alcances del Servicio
Mareográfico Nacional



38 Laboratorios. Columna
vertebral de la ciencia



40 La actividad del Sol. Un
asunto de seguridad
nacional



42 Geodesia Satelital: datos
abiertos aplicados en la
cotidianidad



45 Transversalidad:
solucionar problemas
reales en beneficio
de la sociedad



Los 75 años del Instituto de Geofísica

LOS ANIVERSARIOS son motivo de celebración, pero también deben abrir un espacio para la reflexión y la evaluación. Sin duda que hay razones para festejar, y por todo lo alto, los logros alcanzados, particularmente si se cuenta con un alto componente social y de servicio.

Cuando se cumplen 75 años de funcionamiento, como es el caso del Instituto de Geofísica (IGf), es porque muchas tareas se han realizado de manera satisfactoria. Sin embargo, también es una valiosa oportunidad para hacer una autocrítica, lo más rigurosa posible, para ponderar esos logros, ponerlos en perspectiva y saber hasta dónde pueden alcanzar los esfuerzos desplegados.

En estas siete décadas y media de vida, el Instituto de Geofísica ha ampliado su presencia en el país. Como se podrá apreciar en esta edición de *El faro*, el IGf ha tenido un continuo, firme y decidido proceso de crecimiento.

Desde sus orígenes en la Torre de Humanidades, hasta su consolidación en algunos de los *campi* de la UNAM, como es el caso de la Unidad Michoacán, pasando por sus actuales y modernas instalaciones en el Circuito de la Investigación Científica, en Ciudad Universitaria, el Instituto ha dado muestra de un extraordinario esfuerzo para consolidar las geociencias en México.

En las siguientes páginas, los lectores encontrarán un conjunto de artículos en los que se narra la historia y se destacan logros, retos y servicios que ofrece y maneja el IGf.

La misión de esta entidad universitaria es la de “apoyar las tareas de investigación, docencia, difusión y divulgación científica de su personal académico, así como promover la superación académica del mismo y difundir los resultados de su trabajo, contribuir a la formación de recursos humanos de excelencia, y llevar los conocimientos del área de las Ciencias de la Tierra a capas amplias de la sociedad, con el propósito de contribuir a elevar su nivel cultural y a mejorar sus condiciones de vida”.

Esta misión se cumple día a día, minuto a minuto, ante las altas responsabilidades delegadas al Instituto, a través de los servicios geofísicos que opera. También, y en consonancia con el postulado de la UNAM de resolver los grandes problemas de México, se ha embarcado en la tarea de ofrecer soluciones a situaciones que representan un peligro para numerosas comunidades.

Sea este número especial de *El faro* un medio para dar a conocer al público los logros obtenidos por el Instituto de Geofísica, así como los desafíos que enfrenta de cara a un futuro promisorio ●



EN PORTADA



A lo largo de 75 años, el Instituto de Geofísica ha incursionado en nuevos terrenos, acorde con los grandes avances del conocimiento global de las Ciencias de la Tierra, y de los diversos cuerpos del Sistema Solar. Clave en su desarrollo ha sido la investigación de frontera y una comunicación directa con la sociedad.

UNAM

- Dr. Enrique Graue Wiechers
Rector
- Dr. Leonardo Lomeli Vanegas
Secretario General
- Ing. Leopoldo Silva Gutiérrez
Secretario Administrativo
- Dr. William H. Lee Alardín
Coordinador de la Investigación Científica
- Dr. Julio Solano González
Secretario Académico
Coordinación de la Investigación Científica

Directorio

El faro, la luz de la ciencia

- Patricia de la Peña Sobarzo
Directora
- Yassir Zárate Méndez
Supervisor editorial
- José Antonio Alonso García
Edgar Vergara Hernández
Sandra Vázquez Quiroz
Colaboradores
- Benjamín Salazar
Diseñador gráfico

El faro, la luz de la ciencia, es una publicación de la Coordinación de la Investigación Científica. Oficina: Coordinación de la Investigación Científica, Circuito de la Investigación, Ciudad Universitaria, CP 04510 Ciudad de México. Teléfonos 5550 8834 y 5666 5201. Certificado de reserva de derechos al uso exclusivo del título, en trámite. **Prohibida la reproducción parcial o total del contenido, por cualquier medio impreso o electrónico sin la previa autorización.**

El faro agradece a la Dra. Xóchitl G. Blanco Cano, Secretaria Académica del Instituto de Geofísica, y al titular de la Unidad de Comunicación Social, Lic. Jesús Martínez Gómez, el apoyo brindado para la realización de este proyecto.



elfaro.cic.unam.mx



boletin@cic.unam.mx



[@BoletinElFaro](https://www.facebook.com/BoletinElFaro)



[@ElFaroUNAM](https://twitter.com/ElFaroUNAM)



[boletinelfarocicunam](https://www.instagram.com/boletinelfarocicunam)

El Instituto de Geofísica

y su proyección en el contexto nacional

PATRICIA DE LA PEÑA SOBARZO

A PROPÓSITO de la celebración de los 75 años de la creación del Instituto de Geofísica (IGf) de la UNAM, *El faro* conversó con el director de esta importante entidad universitaria, el doctor Hugo Delgado Granados, sobre su misión, objetivos y retos a mediano y largo plazo.

Ser un referente nacional en las áreas de interés del Instituto, relacionadas con los fenómenos naturales y su expresión medible, a través de instrumentos de tipo geofísico, como sismógrafos, magnetómetros, gravímetros, entre otros, y que permita mostrar el camino de lo que la ciencia de frontera pide a los investigadores, es la misión del Instituto de Geofísica, resume el director.

Todo comenzó con el Departamento de Sismología, relata Delgado Granados. Por ser los sismos fenómenos naturales frecuentes en nuestro país, con un alto impacto en la sociedad, es fundamental contar con sismólogos que ayuden a entender lo que está ocurriendo, qué dispara los sismos, cómo se propagan las ondas sísmicas y el comportamiento del terreno.

Antes de 1945, los primeros geofísicos estaban adscritos al Instituto de Geología. En ese año se vio la necesidad de crear un nuevo centro de investigación, por lo que se forma el IGf con expertos en geofísica. De paso, se incorporan al Instituto servicios nacionales como el Sismológico, el Magnético y el Mareográfico. Este último es uno de los seis servicios geofísicos del Instituto, y cuenta con toda la instrumentación e infraestructura para medir el nivel del mar en todas nuestras costas, y que hoy en día ha adquirido una mayor relevancia ante el cambio climático.

Líneas de investigación

En cuanto a la creación de otros departamentos, como el de Vulcanología, el doctor Delgado afirma que la erupción del volcán Chichón, a principios de abril de 1982, es la tragedia de carácter volcánico más grande que ha habido en México, dada la gran mortalidad que generó. En 1991 aumenta la cantidad de investigadores que ingresan al IGf, lo que permite formar una sección de vulcanología dentro del Departamento de Sismología y hoy en día, afirma orgulloso, “es un Departamento cuyo personal académico es reconocido a nivel internacional. Varios de los integrantes del Departamento son

editores asociados de las principales revistas de vulcanología en el mundo”.

Así, con el ánimo de explicarnos todo lo que es el Instituto de Geofísica, el doctor Delgado refiere el caso del Departamento de Ciencias Espaciales, una de las ramas del conocimiento en el Instituto que mayor tradición tiene gracias a las aportaciones del doctor Manuel Sandoval Vallarta en el área de rayos cósmicos. La labor de sus especialistas en física espacial dio pie a la creación del Servicio de Clima Espacial. Las actividades y reportes que produce este Servicio son de suma importancia, enfatiza el director, dadas las interacciones de la actividad del Sol que pueden, en un momento dado, afectar a la red satelital que rodea a nuestro planeta.

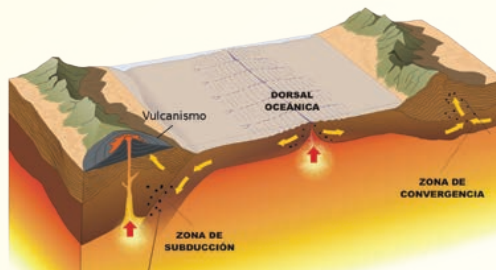
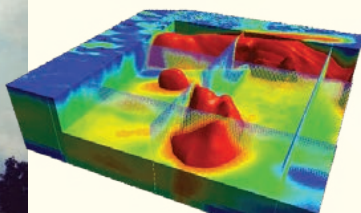
El Departamento de Recursos Naturales efectúa investigaciones fundamentales en temas de prioridad nacional, como el agua subterránea, la contaminación de los acuíferos, geotermia y recursos minerales. En ese Departamento se realizan labores de modelación matemática que permiten caracterizar los procesos naturales.

Entre otros departamentos está el de Geomagnetismo y Exploración, que es bastante dinámico, con más de una decena de líneas de investigación, totalmente originales y diversas, destaca el director. Entre ellas, la relacionada con el impacto de un cuerpo sideral, que causó el cráter de Chicxulub, asociado con la desaparición de los dinosaurios. Otros trabajos importantes son los de detección de zonas de riesgo por hundimientos, particularmente de edificios. Entre los más espectaculares sobresale el descubrimiento de una caverna debajo de la Pirámide del Castillo, en Chichen-Itzá.

En términos de unidades académicas, explica el doctor Delgado, hay siete, y aclara que aunque son diversos los grupos de investigación, no hay fronteras, ya que se colabora mucho entre ellos. Para él, es un orgullo decirlo, en prácticamente la totalidad de estas líneas, “nuestros investigadores son líderes, no solamente nacionales sino en el ámbito internacional”.

Entre los más recientes servicios del Instituto está el de Geodesia Satelital. Antes de ser constituido como tal, la red TlalocNET estuvo activa a lo largo de casi 10 años.

En 2017 se creó el Servicio Solarimétrico Mexicano, cuyas aportaciones son importantes para saber con cuánta radiación solar se cuenta, a fin de



planear y programar adecuadamente las plantas de energía solar, que pueden ser un recurso tanto en el presente como en el futuro de nuestro país. Este servicio complementa las actividades de investigación de manera armoniosa, con la sección de Radiación Solar.

En tanto, la unidad Michoacán realiza actividades de investigación en Ciencias Espaciales, Arqueomagnetismo, Vulcanología y estudios de riesgos geológicos, siendo este grupo de académicos uno de los más dinámicos y productivos del IGf.

El Instituto de Geofísica y su impacto en la sociedad

Para el doctor Hugo Delgado es muy importante que los diferentes departamentos tengan, por un lado, una liga muy directa con grupos de investigación de punta externos, constituyéndose ellos mismos como investigadores de frontera, pero por el otro, el que haya una comunicación directa con la sociedad a través de los tres niveles de gobierno, federal, estatal y municipal, con los que se guarda una relación muy estrecha.

Un claro ejemplo de ello es el Departamento de Recursos Naturales, que trabaja en cuestiones de contaminación y aguas subterráneas, relacionadas con la innovación y yacimientos minerales. En particular, hoy en día se tiene la colaboración con la Dirección General de Infraestructura Hidráulica de la Ciudad de México, a fin de poder identificar la influencia de los contaminantes en la zona metropolitana. Asimismo, se trabaja con fuentes alternativas de energía, como la geotérmica, que para la Comisión Federal de Electricidad es sustancial para el mejor aprovechamiento de este recurso.

Para el director del IGf es fundamental que se dé seguimiento a los diferentes fenómenos a través de los servicios geofísicos, como parte de una interacción que es transversal. Es decir, tener actividades de investigación y de vigilancia, pero también de conexión directa con los tomadores de decisiones y adicionalmente con la población y, enfatiza, “tenemos una comunicación muy directa con la población. Damos mucha información a través de nuestra página web, y de las redes sociales. Por ejemplo, en Facebook contamos con un servicio llamado ‘Conversando con un sismólogo/a’, en el que se habla de un tema en particular y la gente puede hacer preguntas directamente, de lo que siempre quiso saber”.

Retos presentes y futuros

Uno de los principales retos que enfrenta el Instituto es convencer a los administradores del presupuesto en el ámbito federal de las aplicaciones de carácter científico. Lograr su interés en el desarrollo de nuevas ideas que

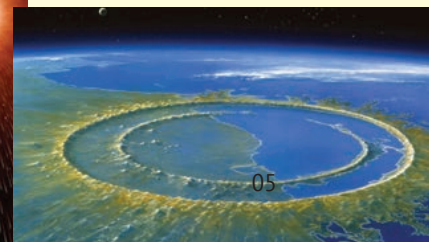
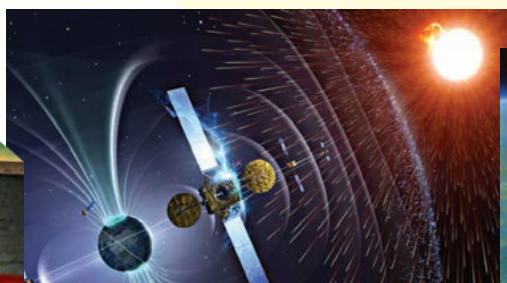
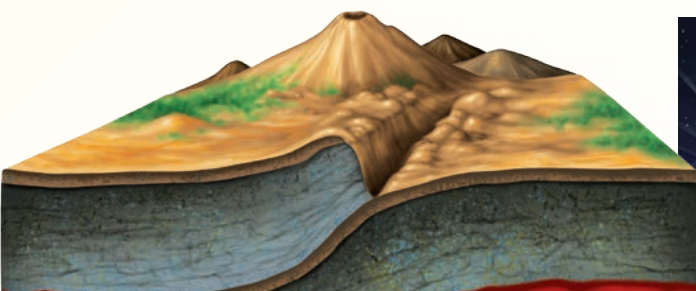


surgen en el IGf. Otro de los desafíos reside en que la investigación que se efectúe en el Instituto, no solo tenga el más alto nivel, sino el adecuado y que esta información llegue, enfatiza, “hasta nuestros verdaderos patrones, que es la población mexicana, ya que las investigaciones son cubiertas por quienes pagan los impuestos en nuestro país”.

En general, la investigación en México, y la del Instituto de Geofísica en particular, ha pasado de la multidisciplina, en la que se desarrollan varias investigaciones, pero de manera aislada, a la interdisciplina, donde se empieza a colaborar conjuntamente y el resultado es un artículo de investigación novedoso. Pero, acota, “ahora que nos estamos moviendo a la transdisciplina no es solamente el compartir información, sino además hacerla accesible a la sociedad”.

En ese sentido, se está procurando hacer investigación científica junto con las áreas de las ciencias sociales y de las humanidades. Por ello, uno de los retos importantes es que la comunidad del Instituto de Geofísica llegue a la transdisciplina de una manera ordenada y adecuada, y que muestre su impacto con la contundencia que debe tener.

Para concluir, el doctor Delgado envía un mensaje a los jóvenes: “los 75 años que estamos celebrando indican dos cosas, una es que a pesar de que son 75 años el Instituto es aún muy joven, de pensamiento joven y eso lo captan los muchachos. Los invitamos a que se acerquen a nosotros y que vean qué es lo que hacemos, son cosas no solamente muy interesantes y de muy alto nivel sino sumamente divertidas. Nos divertimos mucho haciendo ciencia y eso es algo que deseamos transmitir a la niñez y a los jóvenes y, quién quita, más adelante sean nuestros futuros colegas y herederos de esta tradición que hemos formado de alto nivel de investigación científica en este Instituto” ●



Una historia de logros y de retos

El Instituto de Geofísica ha sido un parteaguas para el desarrollo de las Ciencias de la Tierra en nuestro país. Este es un breve recuento de la historia y un boceto del futuro inmediato.

YASSIR ZÁRATE MÉNDEZ

EL INSTITUTO de Geofísica (IGf), de la Universidad Nacional Autónoma de México, ha cumplido una tarea excepcional en el desarrollo de esta ciencia y sus diferentes ramas. Y así lo demuestran las investigaciones, las colaboraciones con otras entidades y la trayectoria de numerosos y destacados especialistas.

La historia en partes

Los antecedentes del IGf se encuentran en el Instituto Geológico de México, creado en la administración de Porfirio Díaz en mayo de 1886. Dos años después, el Congreso de la Unión autorizó la creación del Instituto Geológico Nacional, adscrito a la Secretaría de Fomento, Colonización e Industria.

Fue a partir de 1906 que el Geológico Nacional contó con un edificio propio, en el centro de la Ciudad de México. Ya en el atardecer del régimen porfirista, y como parte de los festejos por el centenario del inicio de la guerra de Independencia, el gobierno de Díaz echó a andar el Servicio Sismológico Nacional, que pasó a formar parte del Instituto Geológico.

La revolución maderista y el largo periodo de inestabilidad que le siguió no detuvieron el desarrollo de las geociencias en México. Tan es así que, en 1914, en plena lucha armada entre las diferentes facciones que se disputaban el poder político, se creó el Servicio Magnético.

Pero antes debemos recordar un antecedente, que se remonta a 1879, cuando se instaló “el primer observatorio magnético en forma”, siendo su sede el Palacio Nacional. Ahí funcionó el Observatorio Meteorológico y Magnético Central hasta mayo de 1887.

Se trataba de un periodo en el que se desplegaron esfuerzos para poner a México a la altura de otros países.

En 1914 el observatorio magnético peregrinó hasta Teoloyucan, en el Estado de México, a 36 kilómetros “al norte de la Ciudad de México, operando con el equipo traído desde Cuajimalpa”. Desde entonces se encuentra en esa localidad mexiquense, aunque ha ido acomodándose en diferentes puntos, hasta el sitio que ocupa actualmente.

El Observatorio Magnético de Teoloyucan es la columna vertebral del Servicio Magnético de la Universidad Nacional, uno de los diferentes servicios operados por el IGf, con los que esta entidad académica y de investigación mantiene un permanente apoyo a las autoridades y a la población.

Para 1929, cuando la Universidad Nacional obtiene la autonomía, también se le asignan otras dependencias, como el Instituto Geológico Mexicano, que tenía bajo su operación al Sismológico Nacional, lo que convierte a nuestra Máxima Casa de Estudios en la única universidad del mundo que tiene a su cargo un servicio de esta envergadura.

Con el paso de los años, se agregaron o instituyeron otros servicios, como el Mareográfico Nacional, forjado al calor de la Segunda Guerra Mundial, y los servicios Solarimétrico Mexicano, de Geodesia Satelital y el de Clima Espacial, cuya labor es fundamental ante el desarrollo y relevancia de las telecomunicaciones en los últimos años. Más adelante, en otros artículos de este número



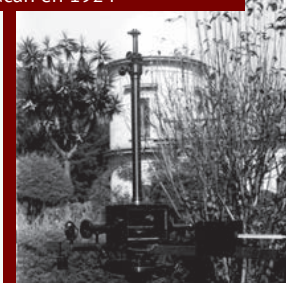
Instituto Geológico de México



Personal que integraba el Instituto de Geología en 1919



Caseta del Observatorio Magnético de Teoloyucan en 1924



Magnetómetro del Servicio Magnético operando en Chapultepec, 1924

especial, hay narraciones en extenso de cada uno de dichos servicios. Los invitamos a darse una vuelta por los artículos correspondientes.

Sin embargo, pasaron varios años para que pudiera consolidarse la

Los años cuarenta, una década auroral

Con el otorgamiento de la autonomía a la Universidad Nacional de México se alcanzaba un añejo anhelo. Pero la autonomía no llegó sola, con ella también se incorporaron diferentes entidades a la flamante UNAM.

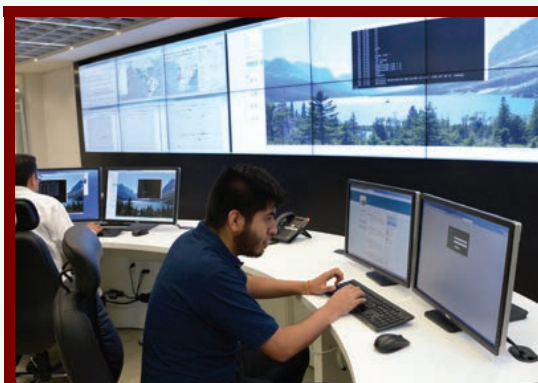
Una de esas entidades fue el Instituto Geológico Nacional, que pasó a denominarse Instituto de Geología, cuya sede se asentaba en Santa María la Ribera, donde ahora funciona el Museo de Geología.

México dejaba atrás un periodo de turbulencias políticas y sociales, aunque enfrentaba nuevos retos domésticos.

Con ese telón de fondo, el doctor Hugo Delgado, en entrevista con la directora de *El faro*, refiere que el 21 de febrero de 1945 y respondiendo a los requerimientos de desarrollo industrial del país, que demandaba contar con un centro de investigación que pudiera apoyar en la exploración, no solamente del petróleo, sino en áreas sumamente importantes como la tectónica, la vulcanología y a la necesidad de tener profesionales e investigadores que se dedicaran al reconocimiento del territorio nacional, el Honorable Consejo Universitario decide la creación del Instituto de Geofísica. La propuesta la había formulado el ingeniero Ricardo Monges López, entonces director de la Facultad de Ciencias y uno de esos extraordinarios personajes a los que la Universidad Nacional debe mucho.

A pesar de su creación en 1945, y como refiere la página electrónica del IGf, no fue sino hasta el 7 de febrero de 1949 cuando el Instituto se echó a andar, bajo la dirección de Monges López, como también rememora el doctor Ismael Herrera Revilla, quien acota que “en 1947 se aprobó la creación del Instituto, sujeto a presupuesto, pero fue hasta febrero de 1949 cuando inició actividades”.

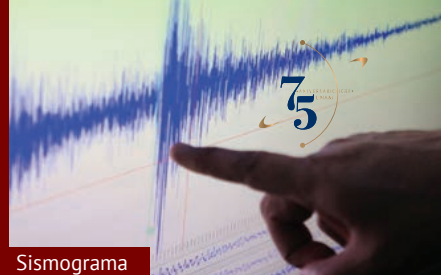
La nueva entidad contaba con los departamentos de Sismología, Geodesia, Geomecánica, Vulcanología y Geofísica Aplicada. Además, se planeaba sumar otros tres “a mediano plazo”: Oceanografía, Hidrología y Meteorología.



Instalaciones del Servicio Sismológico Nacional en Ciudad Universitaria



Caseta del Servicio Mareográfico Nacional



Sismograma

plantilla del personal, como asienta el doctor Herrera, quien fue director del Instituto durante 14 años, en tres periodos diferentes: “No había gente. No se sabía que la propia geofísica es una ciencia. Se trató de estimular y contratar personal que pudiera hacerse cargo del Instituto, porque la idea de Ricardo Monges López fue muy buena, nada más que no había gente. Teníamos que formarla”.

En un ejercicio de retrospectiva, la doctora Ana Lillian Martin Del Pozzo, del Departamento de Vulcanología, apunta que el IGf ha sido la base del desarrollo de esa geociencia en el país.

Perspectivas

“El Instituto tiene un lugar privilegiado en Iberoamérica. Aquí hay un grupo destacado de vulcanólogos y eso ha sido el resultado de logros que se han tenido por varios colegas del Departamento de Vulcanología, que han tratado de aportar no solo al conocimiento de la vulcanología

en México, una serie de bases, fenómenos, investigaciones que han contribuido al conocimiento del comportamiento volcánico”, refiere la doctora Martin Del Pozzo.

Esta idea también es sostenida por el doctor Ismael Herrera, quien externa que “el Instituto de Geofísica ha llegado a un nivel de madurez que soñábamos con él hace algunos años. Hay que seguir así. En cuestiones de investigación nunca se acaba, nunca termina uno. Y también hay que festejar los logros”.

En la misma línea se encuentra el doctor Gerardo Suárez Reynoso, del Departamento de Sismología, quien destaca que el Instituto ha tenido un desarrollo impresionante en estos últimos años, sobre todo con la modernización de las instalaciones del Servicio Sismológico Nacional.

“Al igual que los otros institutos, este se consolidó y amplió; ahora tenemos mejores instalaciones. Esto ha redundado en el aporte científico del IGf y también en otro aspecto que no es estrictamente científico, que es la atención que hace el Instituto a muchas de las necesidades nacionales”, asienta Suárez Reynoso.

En tanto, el doctor Jaime Urrutia Fucugauchi subraya que la geofísica es una de las áreas que tiene más antigüedad en el estudio del planeta, y por lo tanto en la prospección de recursos minerales y energéticos, así como de los “diferentes fenómenos naturales, incluyendo los sismos y las erupciones volcánicas. Lo que hace la geofísica es aplicar los diferentes métodos desarrollados en la física, la química, la biología, a la parte de las ciencias de la Tierra”.

Como apunta el doctor Suárez Reynoso, la geofísica “es una ciencia que tiene relevancia sobre fenómenos naturales que afectan a nuestro país de manera muy importante, como sismos, volcanes o tsunamis”. De ahí la trascendencia de los servicios adscritos al IGf. En suma, los investigadores del Instituto de Geofísica “han asesorado a autoridades estatales, federales y de protección civil”, subraya la doctora Martin Del Pozzo.

En su condición inter y multidisciplinaria la geofísica está llamada a cumplir un papel cada vez más trascendente. “El IGf se ha caracterizado por mantener esta forma de interactuar con las otras disciplinas. Ha jugado un papel interesante, importante en el desarrollo de la geofísica en el país. Los métodos geofísicos, la parte de aplicaciones se usan para la exploración de recursos minerales y energéticos. Fue una de las áreas donde se tuvo un desarrollo bastante rápido, desde inicios del siglo pasado”, apunta el doctor Urrutia Fucugauchi.

El IGf ha participado con las autoridades estatales y federales para generar mapas de peligro volcánico; también ha desarrollado técnicas de exploración para estudiar diferentes tipos de yacimientos de interés económico e inclusive sitios arqueológicos, donde se han hecho descubrimientos muy interesantes, agrega el doctor Suárez Reynoso.

El legado

“El crecimiento de los grupos de investigación del Instituto de Geofísica ha llevado no solo a su fortalecimiento sino a la formación de instituciones independientes dentro y fuera de la Universidad, tales como el Centro de Ciencias de la Atmósfera (febrero de 1976), el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior

de Ensenada (1973, por decreto presidencial) y el Centro de Geociencias en Juriquilla, Querétaro (2 de mayo de 2002)”, consigna la página del Instituto.

Este legado lo subraya el doctor Ismael Herrera, quien asienta que el IGf ha sido “padre de muchos desarrollos”. Y como ejemplo, cita los casos de las unidades en Querétaro y Morelia, así como el ya mencionado Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada.

“El Instituto de Geofísica va a seguir creciendo mucho. Estamos usando metodologías cada vez más sofisticadas. Hay que estar satisfechos, para que eso nos dé energía para seguir adelante; por lo mucho que hemos logrado, que nos siga estimulando. El papel del Instituto ha sido fundamental. Es muy importante y el público ahora lo sabe”, asienta Herrera Revilla.

Esta idea es secundada por el doctor Suárez Reynoso, quien resalta que el IGf condujo al desarrollo de múltiples áreas de investigación en la geofísica. En la misma línea se inscribe el doctor Héctor Pérez de Tejada, quien destaca la creación del Departamento de Ciencias Espaciales por la doctora Ruth Gall, lo que dio lugar al desarrollo de varias áreas en ese campo de investigación. Actualmente, se cuenta con la participación de 14 integrantes del personal académico que realizan estudios teóricos y experimentales en colaboración con instituciones del ámbito internacional.

Todo esto es motivo de reflexión sobre “qué se ha logrado, de dónde venimos, cómo podemos crecer, cuáles son los problemas, cuáles son las maneras de resolver este tipo de cuestiones científicas”, expresa la doctora Martin Del Pozzo.

Finalmente, el doctor Urrutia Fucugauchi anota que el IGf enfrenta “una serie de retos en diferentes magnitudes y escalas de tiempo. Requerimos una reflexión conjunta

y una evaluación de para dónde queremos movernos, qué capacidad es la que realmente se tiene y contar con un programa estratégico, estructurado a largo plazo que incluya la posibilidad de ampliar las capacidades y la calidad de las investigaciones en el IGf. Es un reto complicado” ●

Dr. Ismael Herrera Revilla



Dra. Ana Lillian Martin Del Pozzo



Dr. Gerardo Suárez Reynoso



Dr. Jaime Urrutia Fucugauchi



Radiación solar.

La energía de la vida

Según *Big data*, en 2019, a nivel mundial se consumieron más de 36,500 millones de barriles (159 litros por barril) de petróleo, 3.9 billones de metros cúbicos de gas natural y más de 45 millones de toneladas de carbón para generar energía. Mientras, ¿el Sol brilla por su ausencia?

JOSÉ ANTONIO ALONSO GARCÍA

EN EL DEPARTAMENTO de Radiación Solar se investiga qué y cómo hacer para que este recurso natural se convierta en fuente de energía termosolar limpia y saludable para la humanidad a fin de revertir el daño causado al planeta por la quema de combustibles fósiles.

Hace más de una década, el doctor David Riveros Rosas concluyó su doctorado en ingeniería en el Centro de Investigación en Energía de la UNAM, ahora Instituto de Energías Renovables (IER), con la tesis doctoral *Diseño óptico del horno solar de alto flujo del CIE-UNAM*, y ahora lidera la investigación sobre radiación solar en el Instituto de Geofísica.

Todos los países con logros importantes en tecnología solar necesitan un lugar donde desarrollar esa tecnología termosolar. Y esos sitios son los laboratorios de

investigación, apunta el joven científico. En este horno solar experimental se pueden medir y controlar los flujos de energía que se reciben del Sol. De hecho, es un laboratorio maravilloso. El mejor de América Latina y uno de los mejores del mundo. En él se instrumentan los sensores y, después de todo tipo de análisis, se implementan las futuras tecnologías.

La construcción de prototipos y su optimización se parametriza en los hornos solares. Una vez concluidos, se someten a múltiples pruebas para demostrar su viabilidad. Si todo está correcto, el siguiente paso sería una vinculación entre la iniciativa privada y el centro de investigación para que ese equipo se replique en beneficio de las empresas comerciales de generación de energía termosolar y, en última instancia, de toda la sociedad.



El horno tiene dos grandes espejos, uno móvil de 81 metros cuadrados, que sigue el movimiento del Sol para captar los rayos y reflejarlos en forma horizontal; y uno cóncavo, de 409 espejos de primera superficie, que recibe la radiación y enfoca la energía en un solo punto de aproximadamente 10 centímetros. Puede elevar la temperatura en un solo punto hasta los 3,400 grados centígrados.

“Los centros de investigación se abocan al desarrollo de la tecnología, incluso a demostrar la tecnología en plantas pequeñas, y es en ese momento cuando se debe dar el brinco para que los inversionistas tomen la tecnología e inviertan en ella”, detalla el doctor Riveros, cuyas líneas de investigación son la Evaluación del recurso solar y la Modelación de radiación solar concentrada en sistemas solares de potencia.

El ocaso solar y el alba del petróleo

La energía solar, en general, fue relegada porque apareció el petróleo, que era más barato, explica el científico. Antes de que apareciera el “aceite de piedra” varias empresas estaban invirtiendo fuerte en la generación de energía a partir del Sol. Y recuerda que los campos de canal parabólico ya existían desde finales del siglo XIX. Grandes compañías mineras de Estados Unidos extraían el agua que inundaba las galerías con bombas impulsadas por el vapor generado a partir de la energía solar en plantas de canal parabólico.

También en Inglaterra, Francia y Suiza se estaban desarrollando dispositivos que aprovecharan esta energía. El Sol era la fuente más efectiva para generar energía en los lugares remotos, como las minas. Cuando apareció el petróleo desaparecieron todas esas tecnologías. Y nuestro país, por disponer de grandes reservas, siguió el modelo energético impuesto por el petróleo.

Pero la disminución de las reservas mundiales, los conflictos entre países y la contaminación ambiental han impulsado de nuevo las investigaciones en energía solar. Por ejemplo, en el horno del Instituto de Energías Renovables se pueden alcanzar temperaturas de 3,400°C, suficientes para fundir casi cualquier material.

Afirma el doctor Riveros que el principal potencial energético de México es el solar. Por la posición geográfica en el llamado cinturón de oro, entre los 40° de latitud norte y 40° de latitud sur, que es la región tropical, los niveles de irradiación duplican a los de muchas zonas de Estados Unidos y Europa.

Lo que hemos estado trabajando fuertemente en este departa-

mento ha sido la evaluación del recurso solar del país. Nuestro grupo se dedica a la interacción de la radiación solar con la atmósfera, expone el investigador.

Recuerda que el Servicio Meteorológico Nacional disponía de una red de 133 estaciones automáticas de monitoreo atmosférico, y que en cada una había instalado un piranómetro, el instrumento que cuantifica la radiación global. Sin embargo, la parte de la medición de radiación solar no se cuidó y algunos de los piranómetros no estaban ubicados en lugares adecuados para determinar la radiación solar.

Hace ocho años, dice Riveros, se concretó un proyecto para cambiar todos estos sensores por instrumentos calibrados y reubicar algunos en posiciones más adecuadas. Otro proyecto importante, que concluyó en diciembre pasado, fue el inventario nacional de energías renovables. Forma parte del megaproyecto Centro Mexicano de Innovación en Energía Solar, liderado por el IER. “Esta tarea incluye mucho desarrollo de tecnología para aprovechamiento del Sol. Nuestro grupo tuvo a cargo el subproyecto para la medición y evaluación de la energía solar”.

El objetivo fue instalar una red de referencia para medir la radiación solar. Se instalaron 12 estaciones, el coordinador es el doctor Mauro Valdés y la encargada la maestra Adriana González. “A mí me corresponde la implementación de modelos de radiación solar a partir de imágenes de satélite para compararlos contra las medidas de esta red”, detalla el científico. La red se planifica a partir de una regionalización climática del país, que realizó el doctor Roberto Bonifaz.

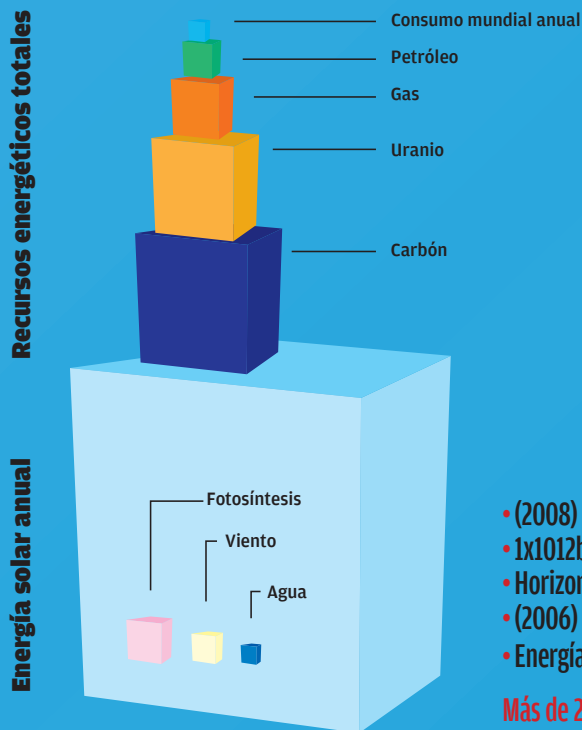
Menos del 1% de consumo de energía solar térmica

Actualmente, más del 80% de la energía eléctrica que se produce en el país proviene de combustibles fósiles: petróleo, gas y carbón; casi 5%, de la geotérmica, “y de energía solar térmica debe ser menos del uno por ciento”, revela el investigador. “Hasta ahora no hemos concretado ningún convenio con alguna empresa privada; sin embargo, hay algunos convenios muy recientes con productores de energía particulares que se están gestionando para instalar plantas termosolares, por ejemplo, en Hermosillo, pero no hay aún nada concreto”.



¿POR QUÉ ATRAPAR AL SOL?

- Irradiación promedio= 5.5 kWh/m²/día
- Por 365 días, energía= 2007 kWh/m²
- En 2m², energía= 4015 kWh
- Eficiencia 10 a 25%
- Al menos 20m² / hab
- Un cuadrado de 50 km x 50 km podría satisfacer los requerimientos de energía para una población de 120 millones de habitantes (0.15% de la superficie nacional)



- (2008) 500 EJ
- $1 \times 10^{12} = 6210$ EJ
- Horizonte de producción de petróleo= 42 años
- (2006) 185 330 EJ
- Energía solar anual= 1 377 00 EJ

Más de 2000 veces el consumo anual de 2008

El cubo azul de arriba representa el consumo mundial de energía en 2008; el verde son las reservas probadas de petróleo, pero son mayores las probables; el rojo es el volumen de reservas de gas; después las de uranio y de carbón. El cubo azul claro de abajo es la energía solar que capta el planeta en un año; de toda esa energía, los cubitos de dentro representan la energía que se usa para la fotosíntesis, para la generación de vientos y de precipitaciones.

Fuentes: World Energy Council 2004 Survey of Energy Resources (2004) and originally from B. Lomborg, *The Skeptical Environmentalist*. (Cambridge: Cambridge University Press, 2001) / https://www.researchgate.net/publication/258836788_Photovoltaic_solar_energy_Key_to_a_sustainable_energy_future

El noroeste del país recibe los niveles de radiación más elevados, “de los primeros lugares en el mundo. Apenas estamos por atrás del desierto de Atacama en Chile. Con los niveles de radiación de esta región del país, y en un cuadrado de 70 x 70 kilómetros en el desierto, podríamos satisfacer de energía eléctrica a todo el país, e incluso duplicar la oferta de energía”, afirma el doctor Riveros.

La irradiación promedio en México es de aproximadamente 5.5 kW/h por m² en un día. Eso significa que si esta cantidad la multiplicamos por 365 días obtendríamos 2,007 kW/h por cada m² al año, cuantifica Riveros. Una casa de tamaño medio consume entre 250 y 350 kW/h al bimestre, y cada mexicano aproximadamente 2,000 kW/h al año. En los países desarrollados, en promedio, cada habitante consume 4,000 kW/h, aspecto que está relacionado con su calidad de vida, pues a mayor calidad de vida hay un mayor consumo de energía por persona, explica Riveros.

Los datos manifiestan que si por cada habitante en México tuviéramos dos metros cuadrados podríamos disponer de la oferta de energía que tiene un país desarrollado. Pero, ¡cuidado!, esto solo si se aprovechara el cien por ciento de la energía termosolar recibida, pero ¡ningún sistema lo hace al cien por cien! Apenas estamos entre un 10 y 25% de eficiencia a nivel mundial, puntualiza el experto.

Tomar solo el 10% significa que cada mexicano necesita unos 20 m² para satisfacer los 4,000 kW/h al año. Extrapolando el dato, si somos 120 millones de habitantes en México, con una superficie de 50 x 50 km

podríamos satisfacer todas las necesidades energéticas anuales en el país, ocupando ¡solo el 0.15% del territorio nacional! Pero eso solo si pudiéramos aprovechar el 100% de los 50 km². Además, no sería práctico hacer esto en una región desértica del norte del país y suministrar su energía, por ejemplo, a Yucatán. Riveros afirma que lo que se tiene que hacer es aprovechar los recursos energéticos de cada región, pues unas son regiones eólicas, otras mareomotrices, muchas de energía solar fotovoltaica y varias de geotermia.

La reforma energética de 2013 incrementó la oferta de generación de energía con el objetivo de abaratarla, “pero no se ha visto aún que baje de precio, pues hace poco que se aprobó la reforma. Se necesita que pase más tiempo e incentivar a los productores de energías renovables”, apunta el especialista.

“La generación de energía eléctrica a partir de la solar está en manos privadas, pues a la Comisión Federal de Electricidad no le gusta la solar porque es intermitente, y porque es susceptible de variaciones fuertes por condiciones climáticas; en pocos minutos entra una nube y cambia por completo la capacidad de generación, y eso les mete mucho ruido a los planificadores de la Comisión”, detalla el investigador. “La solar es buena opción para lugares a donde es difícil llevar el suministro eléctrico convencional. Instalar una planta parece lo más atractivo, porque no necesita estar conectada a la red”.

Y acaba su plática como la empezó: “En el principio era el Sol, y el Sol se hizo energía y la energía se hizo vida. El Sol es el último que morirá. Dentro de 4,500 millones de años” ●

Ciencia subterránea:

Geomagnetismo y exploración



Vista del yacimiento de Fierro El Laco en los Altos Andes chilenos (límite con la Pampa argentina) (Fotografía: Dr. Luis Alva Valdivia).

La vida brota de la tierra, y a la tierra vuelve, por eso es tan importante conocer los secretos escondidos en el subsuelo.

JOSÉ ANTONIO ALONSO GARCÍA

Las principales disciplinas de investigación son: exploración geofísica, geofísica marina, geomagnetismo, geoquímica ambiental, geoquímica isotópica y geocronología, paleoambientes y paleoclimatología, paleomagnetismo, radioactividad natural, radiocarbono, sensores remotos y geodesia satelital. Muchas de estas se destacan por tratar temas de frontera o debate científico o por su potencial impacto en la sociedad.

Para realizar sus labores, los investigadores cuentan con 11 laboratorios: Laboratorio Universitario de Geoquímica Isotópica, Laboratorio Universitario de Radiocarbono, Laboratorio de Análisis de Núcleos de Perforación, Laboratorio de Cartografía Digital, Laboratorio de Espectrometría de Masas, Laboratorio de Paleolimnología, Laboratorio de Paleooceanografía y Paleoclimas, Laboratorio de Paleomagnetismo, Laboratorio de Registros Geofísicos y Estratigrafía de Secuencias, Laboratorio de Radioactividad Natural y Laboratorio de Termoluminiscencia.

Geofísica en el cráter Chicxulub y el lago de Chalco

Conjugamos muchas disciplinas para hacer la caracterización de un acuífero, una mina, un yacimiento petrolero, alguna estructura geológica importante, por ejemplo, para la construcción de carreteras, especialmente en zonas de deslaves; o de algún volcán, no porque seamos vulcanólogos, sino que interactuamos con el grupo de vulcanología y nuestra labor es caracterizar estructuras geológicas que ellos necesitan, incluso dentro del edificio volcánico, por ejemplo, fallas, fracturas o deslaves, explica la investigadora, jefa del Departamento de Geomagnetismo y Exploración, y doctorada en el Institut National Polytechnique de Lorraine, Nancy, Francia.

Uno de los grandes proyectos científicos a nivel internacional en que participó muy recientemente el Instituto de Geofísica fue en las exploraciones submarinas en el cráter de Chicxulub, huella del impacto de un cuerpo proveniente del espacio, que provocó la extinción de los dinosaurios, entre otras especies, hace 65 millones de años. La Expedición 364, encargada de esta tarea, la efectuó un equipo de más de 30 científicos de 12 países y la financió el Programa Internacional de Descubrimiento Oceánico. Estuvo codirigida por el doctor Urrutia (UNAM), Sean Gulick (Universidad de Texas) y Joanna Morgan (Imperial College de Londres).

MUY PROBABLEMENTE todos los geofísicos hayan soñado algo parecido a lo que inspiró a Jules Verne a novelar un *Viaje al centro de la Tierra*. “No hay secreto que se le resista a la ciencia”, se pensaba a mediados del siglo XIX.

Y la ciencia se ha encargado de demostrar que es mucho más fácil un viaje *De la Tierra a la Luna*, o *La vuelta al mundo en ochenta días*, incluso recorrer *Veinte mil leguas de viaje submarino* que un *Viaje al centro de la Tierra*. Los tres primeros, gracias a la ciencia, ya se lograron. Solo falta el cuarto, y los científicos ya están en camino, muy somero, pero ya en camino.

No siguen los pasos de la novela, donde los protagonistas entran a las entrañas terrestres por un cráter en Islandia y, erupción mediante, vuelven a salir por otro cráter, en Italia. Ahora lo hacen a distancia, con sofisticados modelos matemáticos y poderosos equipos tecnológicos desde tierra, mar y aire.

Pluridisciplinaridad

Este es el objetivo de los 25 académicos del Departamento de Geomagnetismo y Exploración: conocer el interior terrestre, principalmente la zona más próxima a la superficie, asiento de la vida. En este quehacer diario también colaboran 80 alumnos de licenciatura y posgrado, entre ellos estudiantes de servicio social y con tesis de licenciatura, maestría y doctorado. Estas valiosas tareas se realizan en el Departamento de Geomagnetismo y Exploración, creado por la iniciativa del doctor Jaime Urrutia Fucuguchi, con la colaboración del doctor René Chávez Segura a finales de la década de los ochenta.

Nuestro departamento es interdisciplinario y multidisciplinario. Realmente es pluridisciplinario, recalca la doctora Elsa Leticia Flores Márquez, jefa departamental. Hay biólogos, geólogos, geoquímicos, físicos, matemáticos... Y es así porque requiere de todas las áreas del conocimiento para nuestro quehacer diario y nuestra interacción con la sociedad.

El Departamento de Geomagnetismo y Exploración resguarda la nucleoteca del Chicxulub, “todos los núcleos de las perforaciones que se realizaron”, agrega la jefa departamental.

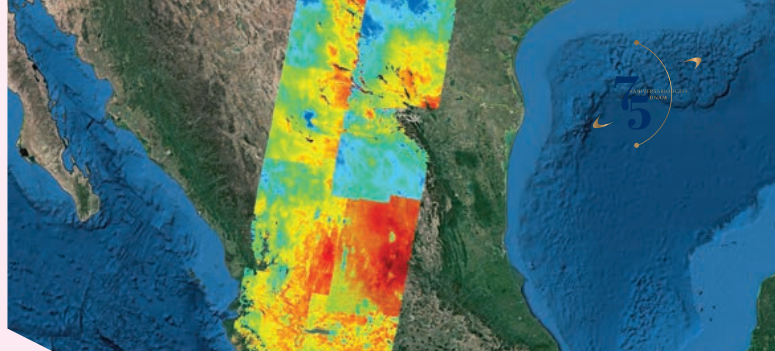
En el lago de Chalco, la doctora Margarita Caballero Miranda, de este departamento, tuvo una tarea semejante a la anterior con el objetivo de coleccionar información sobre el cambio climático de esta zona del valle de México. En este lago se conservan unos 400 metros de capas de sedimentos que contienen información climática y ambiental de, por lo menos, el último medio millón de años en la cuenca de México.

Agua suficiente, limpia y sustentable

“Además de las muchas líneas de investigación para generar conocimiento básico, en el departamento estamos muy involucrados en la caracterización de acuíferos. Y esta es, tal vez, nuestra tarea de mayor impacto directo diario en la sociedad”, refiere la doctora Flores, experta en Análisis, modelación e interpretación de datos geofísicos; Integración y modelación numérica de datos geofísicos en medios porosos (modelos hidrogeológicos, geotérmicos, petróleo); Análisis estadístico no lineal de datos geofísicos (en términos de entropía, fractales, multifractales, leyes de potencia, movimiento browniano).

Por ejemplo, en varios lugares de la ciudad de Puebla el agua de algunos pozos para distribución a los consumidores huele a azufre. Las autoridades poblanas recurrieron al Instituto de Geofísica para encontrar alguna solución al problema. Los investigadores universitarios hicieron la caracterización del agua y descubrieron y analizaron las zonas de fallas y fracturas por donde pasa el líquido. Al final, una empresa privada convino con el gobierno estatal que eliminaba el azufre de esas aguas y se la entregaba libre de este contaminante a cambio de aprovechar en su actividad industrial el azufre recuperado.

También se hacen análisis de contaminación de suelos. Actualmente, la doctora Ofelia Morton Bermea, en su laboratorio de Espectrometría de Masas con Plasma de Acoplamiento Inductivo, implementa uno de estos proyectos para la Ciudad de México. ¿Qué ve en los sue-



Mapa de avances para el estudio de zonas de subsidencia por extracción de agua subterránea, Laboratorio de Cartografía Digital (Elaboración: Dr. Enrique Cabral Cano).

los? Toma muestras de los sedimentos de los camellones y analiza la deposición de los contaminantes; por ejemplo, del plomo procedente del combustible de los automóviles.

Radiografías de pirámides y monumentos

Hacemos geofísica aplicada. Aplicamos electrodos al terreno e inyectamos corriente eléctrica para conocer la resistividad del subsuelo, y así inferir su solidez o contenido de agua. Los equipos de medición nos revelan cuánta pasa, cuánta regresa, cómo se difracta, cómo se modifica. Basados en eso podemos saber qué hay bajo la superficie. También elaboramos modelos de cuánta agua recibe un acuífero, por lluvias, por infiltración, por vertido de intrusión y de cuánta se explota. Este tipo de estudios requiere mucho tiempo, mucho trabajo de campo, porque todo se hace en base a ir a un lugar, hacer mediciones y sacar perfiles, expone la jefa del departamento.

Como ejemplo, recuerda los trabajos del doctor René Chávez Segura, quien, mediante electrodos y descargas eléctricas reveló que la pirámide de Kukulcán (en realidad son tres, superpuestas), en Chichén Itzá, está construida sobre un cenote. O las cámaras funerarias, túneles y pasadizos que se ocultan bajo la pirámide de la Luna en Teotihuacan, reveladas también con esta técnica.

“Aquí hacemos de todo y la situación de impacto a la sociedad la tenemos siempre muy presente. Quisiéramos hacer más, pero no nos alcanza el tiempo y disponemos de pocos recursos económicos”, concluye la doctora Elsa Leticia Flores Márquez ●



Toma de muestras en el lago Santa María del Oro, Nayarit, campaña de perforación 2003 (Fotografía: Dra. Margarita Caballero).



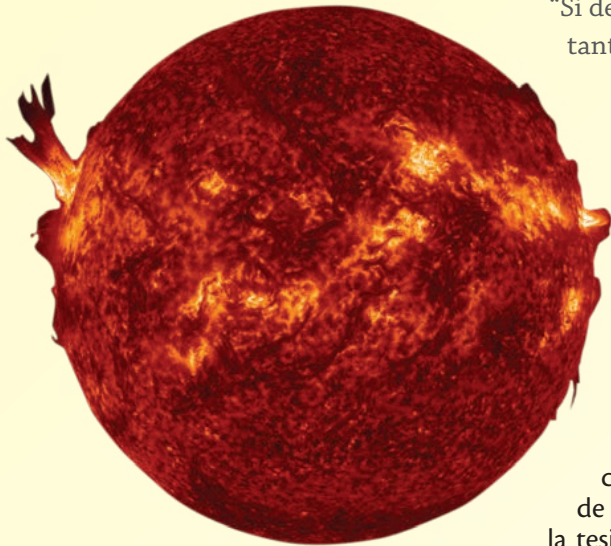
Espectrómetro de masas Triton-plus del Laboratorio Universitario de Geoquímica Isotópica (Fotografía: Dr. Raymundo Martínez).

Sin Sol no hay vida

JOSÉ ANTONIO ALONSO GARCÍA

“Si deseamos el progreso armónico de nuestra patria, debemos estimular tanto la investigación aplicada a fines inmediatos como la investigación en las ciencias fundamentales”¹

Manuel Sandoval Vallarta



El Sol es la estrella del sistema solar.

A LOS 25 AÑOS (1924), el eminente joven Manuel Sandoval Vallarta obtuvo en el Instituto Tecnológico de Massachusetts el título de doctor en Ciencias, en la especialidad de Física Matemática, con la tesis *El modelo atómico de Bohr desde el punto de vista de la Relatividad General y el cálculo de las perturbaciones*.

Tres años después, con una beca Guggenheim, se fue a Alemania, el centro de investigación más importante en física del mundo, donde tuvo como profesores a Albert Einstein, Max Planck, Erwin Schrödinger y Werner Heisenberg. Tiempo después escribiría: “Nadie puede decir que si no sé física es porque no tuve buenos profesores”. A Sandoval Vallarta bien se le puede aplicar la frase de Newton: “Si he visto más lejos es porque estoy aupado a hombros de gigantes”.

Su gran aportación a la ciencia fue exclusivamente teórica, porque, además de mecánica cuántica y relatividad general, su gran tema de investigación durante más de cuatro décadas fueron los rayos cósmicos. A sugerencia suya se realizó un famoso experimento en la azotea de un hotel de la Ciudad de México, con el que quedó demostrado que la radiación cósmica está compuesta, preponderantemente, de partículas de carga positiva, identificadas algún tiempo después con protones y otros núcleos atómicos.

Tras los pasos del gigante

A la doctora Ruth Gall, especialista en rayos cósmicos, se le atribuye la creación en

1962 del Departamento del Espacio Exterior, ahora llamado de Ciencias Espaciales (DCE), del Instituto de Geofísica. “Madame Cosmic Rays”, que así se le decía a esta investigadora de origen polaco, también fue alumna de Manuel Sandoval Vallarta, de quien heredó su pasión por los rayos cósmicos.

Otros dos personajes pioneros del grupo de Ciencias Espaciales fueron Javier Otaola Lizarzaburu, estudioso también de la radiación cósmica y quien estuvo a cargo de la Estación de Rayos Cósmicos de Ciudad Universitaria que ahora lleva su nombre; y Silvia Bravo Núñez, dedicada al estudio de la Física solar y recordada en el mundo académico por sus contribuciones al conocimiento de la configuración del campo magnético solar.

Hoy, casi seis décadas después de su creación, el DCE se compone de doce investigadores y cuatro técnicos académicos cuyas líneas de investigación son Física del medio interplanetario, Física magnetosférica, Física de plasmas, Física de rayos cósmicos, Física planetaria, Física solar, Física de plasmas polvosos, Relaciones Sol-planetas, Física de partículas solares, Métodos de predicción de fenómenos estocásticos, Física de las relaciones Sol-Tierra (helioclimatología), Física ionosférica, Ciencias planetarias, Clima espacial, Geología planetaria.

En su quehacer diario, este pequeño grupo de científicos sigue la huella de Sandoval Vallarta, pues su labor científica también es, preponderantemente, teórica. La doctora María Dolores Maravilla Meza, investigadora del Departamento, está de acuerdo en que la sociedad demande que sus científicos se involucren en la realidad de la población, pues reconoce que es una función del personal académico de la Uni-



El Sol modula el clima en la Tierra.

¹<https://colnal.mx/integrantes/manuel-sandoval-vallarta/> (consulta: 20 de enero de 2020)

versidad “organizar y realizar investigaciones, principalmente acerca de temas y problemas de interés nacional”.

Del conocimiento a la educación

Afirma la científica que el DCE contribuye a esa demanda social con algo muy importante como es generar conocimiento.

Enseguida comenta que también se hace investigación aplicada en los campos de física solar y física del clima espacial. “Aquí hay quien se dedica a estudiar la física solar; además, hay otra rama del conocimiento que también tiene que ver con el Sol, que es la física de rayos cósmicos. Ambos son un tema muy real en la vida diaria de cada ciudadano mexicano. La agricultura, la salud y el clima también dependen del Sol. En resumen, la vida depende del Sol. Cada uno de nosotros depende del Sol”.

“Algunos investigadores se dedican a la ciencia básica y otros a la aplicada, porque es difícil hacer ciencia aplicada sin que esté fundamentada en la básica”, argumenta la doctora Maravilla. “En realidad, y con el tiempo, a veces años y hasta décadas, la ciencia básica suele ser, en muchos casos, la base de la aplicada. En ciencia no es bueno ser cortoplacistas. Por eso los Premios Nobel en ciencias suelen otorgarse bastantes años después de que los ganadores iniciaron sus estudios teóricos”.

Del polvo cósmico a la fotosíntesis

Los rayos cósmicos son las partículas más energéticas del Universo. Entonces, conviene saber cuántas nos llegan a la Tierra, cómo pueden afectarnos y cada cuánto tiempo llegan. Estas son las preguntas a las que busca las respuestas la doctora Maravilla, cuyas líneas de investigación son el estudio de la física del polvo cósmico en ámbitos espaciales y astrofísicos y su relación con el origen y la formación del Sistema Solar, incluyendo la física de los anillos planetarios, el origen y formación de los haces de polvo, la dinámica de micrometeoroides en la atmósfera terrestre y el estudio de meteoritas primitivas.



Observatorios de Rayos Cósmicos en la cima del volcán Sierra Negra y en la Ciudad de México.



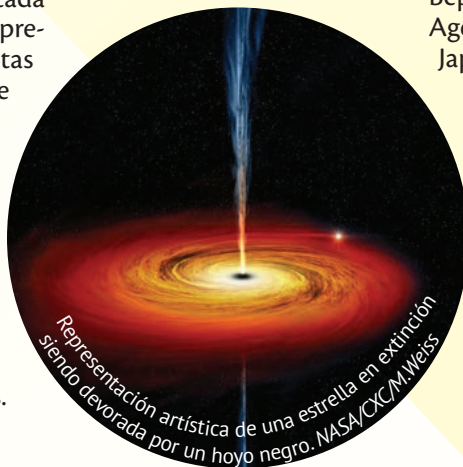
Pabellón de Rayos Cósmicos cuya construcción dio inicio en 1951 proyectado por Jorge González Reyna.



El Pabellón de Rayos Cósmicos sería un laboratorio para la medición de neutrones.



Actual Observatorio de Rayos Cósmicos del Instituto de Geofísica en Ciudad Universitaria.



Representación artística de una estrella en extinción siendo devorada por un hoyo negro. NASA/CXC/M.Weiss

La sociedad mexicana debe estar consciente de que prácticamente todos los alimentos que produce nuestro campo se dan por la actividad fotosintética que las plantas efectúan con la energía procedente del Sol. Si no tuviéramos al Sol no habría en la Tierra nada de vida como la concebimos, apunta la científica experta en polvo cósmico.

Los análisis del polvo cósmico capturado en la atmósfera de la Tierra han revelado que puede contener partículas que se remontan a tiempos anteriores a la formación del sistema solar. A ese material se le llama “granos presolares”, y proviene de la muerte de las estrellas. Por eso Carl Sagan decía que no somos más que polvo de estrellas. Y no se equivocó, asevera Dolores Maravilla.

A nuestra atmósfera a diario llegan 40 toneladas de polvo cósmico. En la superficie no se percibe porque la mayor parte se sublima y evapora en la alta atmósfera. A la superficie llega mucho menos del 1% de las 40 toneladas. Polvo cósmico es la materia rocosa del universo, todo aquel cuerpo que mida menos de una décima de milímetro, precisa la experta.

Física de frontera internacional

Actualmente, la doctora María Dolores Maravilla Meza y algunos colegas del DCE colaboran en proyectos internacionales, como Extreme Universe Space Observatory onboard Japanese Experiment Module (JEM EUSO), el Auger (Pierre Auger Observatory), el HAWC (High Altitude Water Cherenkov) y el BepiColombo (misión conjunta de la Agencia Espacial Europea y la Agencia Japonesa de Exploración Aeroespacial al planeta Mercurio), entre otros.

En la década de los 60 solo eran dos investigadores, “y ahora somos 11, pero después de varias décadas deberíamos tener un departamento con cien científicos o más. Aun así, seguiremos generando conocimiento para beneficio de toda la humanidad”, concluye la doctora María Dolores Maravilla Meza ●

Conocer y aprovechar los recursos

En el Departamento de Recursos Naturales se desarrollan investigaciones relacionadas con la exploración, evaluación y gestión integrada de los recursos naturales, la calidad del agua, la geofísica computacional y el análisis de imágenes digitales multispectrales con fines de prospección del medio ambiente.

JOSÉ ANTONIO ALONSO GARCÍA

LOS TRABAJOS más relevantes que hace este Departamento están en aguas subterráneas, tanto en la parte de exploración, evaluación de acuíferos, cuencas hidrográficas y contaminación, como en energías renovables, especialmente en geotermia, donde tenemos varios proyectos vigentes, afirma la doctora Rosa María Prol Ledesma, experta en geotermia, interacciones agua-roca, percepción remota y sistemas de información geográfica.

Recientemente recibieron la visita de una empresa privada en busca de asesoría para desarrollar tres proyectos de geotermia. "Ustedes nos pueden ayudar".

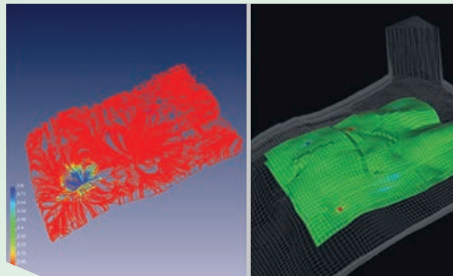
Esta es una de las funciones de los académicos universitarios: "... organizar y realizar investigaciones principalmente acerca de temas y problemas de interés nacional..." (Artículo 2º, *Estatuto del Personal Académico de la Universidad Nacional Autónoma de México*).

Los 11 investigadores y 9 técnicos académicos de este Departamento de Recursos Naturales están desarrollando decenas de proyectos cuyos resultados ponen a disposición de toda la sociedad, especialmente del sector público, como la Comisión Federal de Electricidad, Conagua y Petróleos Mexicanos. "Tenemos 20 proyectos de geotermia en Baja California, así que escojan los que más les gusten, les ofrecimos", refiere la doctora Prol, jefa del departamento.

Ellos ya sabían que nosotros habíamos hecho exploración y que estaba ese recurso energético natural. Se ha realizado exploración en Los Cabos, donde perforaron un pozo de 200 metros y se había planeado perforar dos pozos más profundos para producir energía



Muestreo de agua en zona de ventilas termales someras en las costas del Golfo de California. Proyecto "Evaluación de los recursos geotérmicos de la Península de Baja California: continentales, costeros y submarinos"



Investigaciones de modelación de flujo en acuíferos.

geotermoeléctrica e instalar una desaladora usando energía geotérmica. Este proyecto es importante por la carencia de energía y agua en toda la península.

También se tiene otro proyecto en Ensenada donde, además, podrían darle otros usos. Porque la geotermia no solo es electricidad, sino que también aporta otros beneficios; por ejemplo, el agua caliente de desecho puede aprovecharse para deshidratar frutas o verduras.

Geotermia, agricultura

Doctorada en Ciencias Físico-Matemáticas en la Academia de Ciencias de la Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas en 1981 y profesora invitada en el Departamento de Ciencias Terrestres y Planetarias de la Universidad de Harvard, Rosa María Prol apunta que en Nayarit hay una deshidratadora, donde procesan piña, pera, papaya, melón y nopal con la energía que les proporciona una planta geotérmica cercana.

Otros ejemplos de aprovechamiento de la energía geotérmica están en Puebla, en la localidad de Los Humeros, donde un hospital y una escuela se calientan con energía geotérmica (este es el yacimiento con la temperatura más elevada en el país; alcanza los 400°C); y en Mexicali se climatizan invernaderos con la energía eléctrica proveniente de la geotérmica. "Con una temperatura regulada y constante, han duplicado la producción agrícola", afirma la experta.

Aguas subterráneas

En la sección de aguas subterráneas, la doctora Graciela Herrera y la física Alejandra Cortés, junto con cinco

investigadores del departamento (tres de cátedra Conacyt) han formado un grupo interdisciplinario con el Instituto de Geología y la Facultad de Ingeniería para colaborar con los gobiernos de la Ciudad de México y de Morelos con el propósito de no sobreexplotar los mantos acuíferos y alcanzar la sustentabilidad entre suministro y consumo.

Otro de los objetivos de este equipo interdisciplinario es evaluar la contaminación de los mantos freáticos. En algunos lugares del país hay intrusión salina, porque se explota tanto el acuífero que penetra el agua de mar. Por ejemplo, en el valle de Guaymas, una zona que era muy fértil se explotó tanto que el agua marina avanzó tierra adentro y la agricultura, que antes se daba casi a la orilla del mar, ahora está a varios kilómetros de la costa, recuerda la investigadora, cuya tesis doctoral se tituló *Estudio Geotérmico del Eje Volcánico Mexicano*.

Arsénico, boro y cromo

No solo el agua salada penetra en “tierra dulce”, sino que a lo largo y ancho de nuestro país el arsénico contamina numerosos ríos, arroyos y mantos freáticos. Por ejemplo, en el Bosque de la Primavera, próximo a la ciudad de Guadalajara, “los arroyos tienen niveles de arsénico varias veces superiores a la norma, ¡y la gente se baña ahí durante el fin de semana!”, exclama la geofísica.

En los años ochenta el Instituto de Geofísica implementó un proyecto muy grande en colaboración con la Universidad de Waterloo para evaluar la recarga hídrica en el valle de México, sobre todo en las sierras de Las Cruces y Chichinautzin, y se establecieron los parámetros para una explotación sustentable. “Sin embargo, lo que ahora se está haciendo es perforar pozos superprofundos, de más de mil metros. Un desastre”.

También en Monterrey y en San Luis Potosí están perforando pozos profundos para extraer agua. Pero este líquido ha tenido mucha interacción con roca y va a generar muchos problemas. Inclusive, a veces sale caliente porque es una región volcánica con alto gradiente geotérmico, “y si es agua caliente también lleva muchas sustancias disueltas, como boro y arsénico. La tendrán que filtrar con membranas y será muy caro”, explica la científica.

“Mucho trabajo por hacer y faltan manos”

La doctora María Aurora Armienta, también investigadora de este Departamento de Recursos Naturales, estudió la contaminación hídrica en el valle de Zimapán, Hidalgo, donde hay muchas minas cuyos jales contaminan las aguas superficiales, y en esta, como en todas las zonas mineras del norte y centro del país, el principal problema es el arsénico. También en la región de La Laguna el agua está contaminada con arsénico.

La doctora Armienta trabajó en el estado de Guanajuato, en la ciudad de León y alrededores, donde el agua está contaminada por el cromo que desechan las tenerías, talleres en que se curte el cuero de la industria del zapato. “Hay mucho trabajo por hacer y faltan manos”.

Agrega la doctora Prol que una empresa minera de San Luis Potosí solicitó asesoría porque en algunas de sus minas brota agua a entre 50 y 60°C y ya casi no pueden trabajar; mismo problema de una mina en Durango, donde en los niveles más profundos los trabajadores solo pueden extraer mineral durante lapsos de 20 a 30 minutos. “Es un problema de muchas minas de México”.

También los académicos del departamento trabajan en apoyo a la explotación de hidrocarburos; por ejemplo, el Grupo de Modelación ha tenido proyectos importantes enfocados a la recuperación secundaria en yacimientos petroleros.



Muestreo de suelos en los alrededores del campo geotérmico de Cerro Prieto para el proyecto Análisis hidrogeoquímico y ambiental de la zona circundante al complejo geotermoeléctrico de Cerro Prieto, fase II, que formó parte del Estudio de evaluación ambiental del campo geotérmico Cerro Prieto, en Mexicali, B. C. coordinado por el Programa Universitario del Medio Ambiente.

Conocimiento que no se comparte, no es conocimiento

Otra de las funciones de los académicos universitarios es desarrollar actividades conducentes a extender con la mayor amplitud posible los beneficios de la cultura. “Parte del trabajo que ahora hacemos es la difusión. Cuando estuve a cargo del programa de formación de recursos humanos en el Centro de Energía Geotérmica desarrollamos un curso en internet que ha tenido mucho éxito entre los estudiantes de educación básica; también creamos videos y abrimos sitios en las redes sociales. Conocimiento que no se comparte, no es conocimiento. Tenemos que repartirlo”, concluye la doctora Rosa María Prol Ledesma ●

Enseñanzas de los volcanes

Entre los numerosos espectáculos que nos regala la Tierra, pocos son tan impactantes como la erupción de un volcán. La actividad de estos colosos refleja los procesos internos de nuestro planeta. Corresponde a los vulcanólogos investigar este tipo de fenómenos.

YASSIR ZÁRATE MÉNDEZ

EL DEPARTAMENTO de Vulcanología del Instituto de Geofísica (IGf) de la UNAM “tiene como uno de sus objetivos principales el estudio del origen del magma, su evolución, los procesos físicos y químicos que ocurren durante su ascenso y cómo estos influyen en la naturaleza de las erupciones y en sus efectos en la superficie, tanto sobre el ambiente como sobre la sociedad”.

Áreas de interés

El territorio mexicano cuenta con numerosos volcanes de diversos tipos y en diferentes estados de actividad y latencia. Los expertos del IGf “estudian desde varios puntos de vista las miles de estructuras volcánicas distribuidas en el territorio nacional, siempre manteniendo colaboración con la comunidad científica internacional para el intercambio de ideas y experiencias”.

El Departamento de Vulcanología tiene muchas áreas de desarrollo, refiere la doctora Alejandra Arciniega, jefa de esta área del Instituto de Geofísica, quien añade que una de las que tiene que ver con la geofísica es la exploración para identificar la estructura de volcanes “desde el punto de vista del edificio”, saber cómo se ha formado reconstruyendo su historia eruptiva.

La sismología, por otro lado, estudia efectos dinámicos, “como cuando un volcán manifiesta algún tipo de actividad, se detecta la ocurrencia de uno u otro evento volcano-tectónico, como se les llama, o eventos asociados a la actividad en la que puede haber exhalaciones, fumarolas o erupciones explosivas de mayor magnitud”.

Unos vecinos muy inquietos

La vulcanología es una ciencia multidisciplinaria. Y esa condición se ve reflejada en este Departamento, donde hay investi-



gadores con las más diversas formaciones. “Lo ideal es que tengamos interacción entre todos, para lograr un entendimiento más integral de los procesos asociados a los fenómenos volcánicos, y así comprender cómo se comportan y a qué probables escenarios pueden dar lugar con el tiempo. Es relevante que en un instituto como el nuestro haya gente que se dedique, se enfoque a la vulcanología, y que interactúe con los investigadores de otros departamentos”, apunta la investigadora.

La doctora Arciniega añade que, en México, la sismología volcánica tuvo un fuerte impulso luego de que el Popocatepetl entrara en actividad de nueva cuenta en 1994. El *Popo* es un referente, gracias a su cercanía con las instalaciones del Instituto y de otras entidades académicas, como la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, y gubernamentales, como el Centro Nacional de Prevención de Desastres, lo que facilita su monitoreo en tiempo real. Se trata de un vecino sumamente inquieto que conlleva riesgos importantes... como suelen provocar los volcanes activos.

Por otro lado, el coloso, que se reparte entre Puebla, Morelos y el Estado de México, invariablemente llama la atención de especialistas de otros países, en parte mediada por el IGf, que históricamente ha tenido contacto con otras universidades y centros de investigación.

El *Popo* es un volcán “que presenta explosiones en un amplio rango de magnitudes: puede generar eventos fumarólicos, explosiones vulcanianas o puede producir erupciones plinianas, como lo ha hecho en el pasado. Es un volcán muy interesante, porque presenta emisiones relativamente regulares, lo que permite monitorear y hacer análisis diferentes



y así tener una relación de la dinámica de cómo se ha estado comportando en el tiempo que lleva activo”, agrega la también catedrática.

Líneas de trabajo

Los intereses de los investigadores del Departamento de Vulcanología son amplios. Así, al “atender el objetivo de investigar el fenómeno volcánico en forma integral”, se requiere de un esfuerzo transdisciplinario.

La página del Instituto de Geofísica refiere que sus integrantes se enfocan al estudio y reconstrucción de la historia eruptiva de los volcanes, tanto reciente como en el pasado geológico, determinando la magnitud de las erupciones y distribución de productos eruptivos.

También emplean métodos geofísicos y geoquímicos para conocer la estructura interna de los volcanes y el desarrollo de los procesos volcánicos y para conocer la relación de los volcanes con el contexto tectónico y geodinámico de los sistemas terrestres en que se encuentran.

De igual manera, se enfocan en la elaboración de bases de datos descriptivas de la actividad eruptiva de los volcanes; el desarrollo de estudios geofísicos y geoquímicos como instrumentos de diagnóstico y pronóstico del comportamiento volcánico; el diseño de nuevas metodologías e instrumentos para el estudio de los volcanes; utilización de modelos fisicomatemáticos y experimentales para comprender la naturaleza de los procesos volcánicos.

Un segmento destacado es la evaluación del peligro y riesgo volcánico en México, así como el apoyo a cuerpos académicos y dependencias internas y externas a la UNAM, públicas y privadas, acerca de los peligros y riesgos volcánicos. Tampoco puede faltar el asesoramiento de estudiantes y dirección de tesis de licenciatura, maestría y doctorado, al igual que la integración del cuerpo docente de las licenciaturas y posgrados de la UNAM relacionados con las Ciencias de la Tierra.

Investigación con beneficios

A la pregunta de cómo se ha traducido el arco de investigaciones desplegadas por el IGf en beneficios para la población, la doctora Arciniega destaca, en primer término, la formación de nuevos especialistas, “para que se comprendan mejor los fenómenos y lo que significa vivir en un país con una dinámica volcánica y geofísica muy intensa. Esto nos ayuda a que las nuevas generaciones vayan siendo formadoras de otras generaciones, para que la gente se familiarice con lo que significa vivir en lugares como estos, donde hay sismos y volcanes activos”.

Arciniega considera indispensable llegar a todos los niveles sociales para poder transmitir el conocimiento generado. Debe ser información accesible y fácil de comprender, aunque reconoce que este proceso requiere tiempo, ante los diferentes grados de preparación que tiene la gente.

Admite que no es lo mismo enseñarle a una población donde tal vez no alcancen el nivel de primaria



Fumarola emitida por el volcán Popocatepetl vista desde la ciudad de Cholula, en Puebla.

o incluso donde no se emplea el español. “Nosotros también tenemos que aprender sobre cómo esas poblaciones reciben la información, cómo la interpretan, porque no es una situación de igual a igual en términos de educación, para poder transmitir la información así nada más. Se requieren otras etapas para poder procesar, reprocesar esa información y ponerla a nivel para que realmente comuniquemos lo que representa vivir en las cercanías de un volcán activo”, asienta.

De igual manera, considera necesario que los comunicadores se capaciten para entender la terminología y puedan transmitir eficazmente la información. En la misma sintonía deben estar las autoridades de todos los niveles.

Para concluir, la doctora Arciniega señala que tenemos que entender que “vivimos en un planeta con una dinámica constante derivada de la actividad tectónica, sismos, vulcanismo, deslizamientos de tierra. No tenemos que estar pensando que la naturaleza hace desastres. Los desastres los hacemos los humanos. El desastre natural, como tal, no existe. Existe el desastre que nosotros hacemos por no prever, por no planear. Y no educar, obviamente” ●

La génesis de los sismos en México:

el Departamento de Sismología

El Departamento de Sismología del Instituto de Geofísica implementa tecnología de punta y nuevas líneas de investigación para el estudio de la actividad sísmica en México

SANDRA VÁZQUEZ QUIROZ



Antena de GPS.

CUANDO SE habla de sismicidad en México el gran referente es el Servicio Sismológico Nacional (SSN), una institución creada en 1910, que pasó a formar parte de la UNAM en 1929. Desde entonces fueron pocas las estaciones sísmicas que se quedaron dentro de la red del SSN. Fue hasta el sismo de 1985 en que se invirtieron recursos para ampliar y mejorar la red e infraestructura que eventualmente alcanzaría tecnología de punta.

Por muchos años el SSN y el Departamento de Sismología en el Instituto de Geofísica (IGf) estuvieron unidos. Los ingenieros del SSN instalaron y mantuvieron la infraestructura en los sitios sísmicos bajo los consejos de los investigadores del Departamento. Actualmente, el SSN tiene la capacidad de ser más independiente, pero hasta la fecha, quien encabeza al SSN investiga en el Departamento de Sismología, a cargo del doctor Allen Leroy Husker, quien en entrevista para este número especial de *El faro* destaca que México es un país único por situarse en una de las regiones sísmicas más activas, enclavado dentro del “Cinturón Circumpacífico” donde se concentra la mayor actividad sísmica del planeta.

El Cinturón rodea casi totalmente el Pacífico, se extiende a lo largo de las costas de América del Sur, México y California hasta Alaska; después continúa por las islas Aleutianas y regresa al sur a través de Japón y las Indias orientales. La mayor parte de la energía sísmica se libera en esta región.

Allen Husker señala que nuestro país es un laboratorio

per se para realizar estudios sísmicos debido a que “nos ubicamos entre las placas de Norteamérica, la de Cocos, la del Pacífico, la de Rivera y la del Caribe, así como entre fallas locales de menor riesgo que se encuentran a lo largo de varios estados de la República”. En el Departamento de Sismología del IGf se desarrolla investigación de frontera sobre temas sísmicos, pero también se mantienen líneas clásicas.

Destaca que históricamente han desplegado líneas de investigación como sismotectónica, fuente sísmica, propagación de ondas, estructura cortical, movimientos fuertes, riesgo sísmico, proceso dinámico de ruptura de fallas, sismología volcánica, estructura del interior profundo de la Tierra, geofísica marina y mareas, entre otros estudios.

Por lo que respecta a proyectos actuales, la implementación de nueva tecnología ha permitido abrir el campo utilizando redes GPS y técnicas como la interferometría de radar (InSAR), que ayuda a identificar posibles deformaciones superficiales asociadas a un sismo.

La infraestructura tiene también una parte clásica y una parte mucho más actual, refiere el sismólogo. “Desde 1910 se usaron los sismógrafos conectados a un sistema de registro que detectan movimientos telúricos. El grafo está conectado con una pluma y funciona bajo el principio de inercia”. Esos aparatos ya no se utilizan.

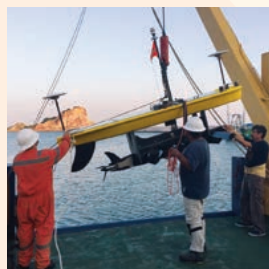
La implementación de equipo moderno en estudios de sismicidad suele ser costosa, por lo que algunos grupos de investigación trabajan con



Antena de GPS con vista a la bahía de Acapulco.



La instalación de un sismómetro. El doctor Allen Husker está sentado y el doctor Juan Payero está de pie.



La recuperación de datos durante el proyecto SATREPS.



La instalación de sismómetros de fondo marino.

equipos adquiridos a través de proyectos de investigación específicos (55 sismómetros y 35 GPS), también hay tres redes que se comparten en el Departamento: 1) la Red de Atención para Emergencias Sísmicas, con siete estaciones sísmicas (incluyendo sensor y digitalizador) para realizar instalaciones rápidas después de sismos importantes; 2) el Banco de Estaciones Sismológicas Temporales, con 15 estaciones sísmicas (incluyendo sensor, digitalizador, batería y panel solar) para instalaciones de mediano plazo; y 3) Red de SATREPS, con ocho sismómetros de fondo marino, cuatro sensores de presión de fondo marino y cuatro GPS acústicos.

Por otro lado, hay un grupo de sismólogos que mantiene la supercomputadora *Pohualli*, que se apoya en más de 300 procesadores, para generar sismos sintéticos (simulaciones por computadora) e invertir grandes cantidades de datos que vienen de las redes sísmicas.

Otra base de apoyo en el Departamento son dos laboratorios del propio IGf: el Laboratorio de Geodesia Satelital y el Laboratorio Universitario de Cartografía Oceánica.

Sismos lentos

Entre los estudios más recientes destaca el de los sismos lentos o silenciosos. Los sismos lentos más grandes del mundo ocurren en México, destaca Allen Husker. “Cada tres o cuatro años hay un sismo lento de magnitud 7 o arriba en la brecha sísmica de Guerrero. Antes se pensaba que ahí iba a ocurrir un gran sismo. Hemos observado que estrictamente no funciona así; no se pueden predecir sismos y pronosticar es complicado. Se sabe que los sismos lentos, que no causan ondas sísmicas, son un factor importante para reducir la acumulación de esfuerzos ahí; aún no está claro todo lo que hacen, pero son importantes en la distribución de esfuerzos que causan sismos”.

El responsable del Departamento destacó que la consolidación de la red GPS y de la red de sismómetros en el estado de Guerrero ha permitido estudiar las deformaciones corticales en esa zona y su relación con el ciclo sísmico. “Dichos estudios han dado como resultado un mejor conocimiento de la génesis de los sismos mexicanos, las leyes de atenuación regional de las ondas sísmicas en el sur de México, la identificación de sismos tsunamigénicos y

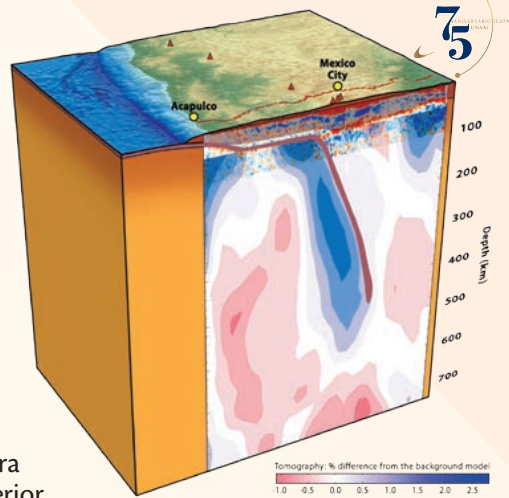
la existencia de los llamados sismos silenciosos o lentos y tremores no volcánicos en Guerrero”, añade.

Mediante el uso de datos regionales y teler sísmicos, así como del denominado ruido sísmico, los científicos desarrollan algunos proyectos enfocados a la determinación de la estructura de la corteza y manto superior del centro y sur de México. En el Departamento de Sismología hay además investigaciones en temas afines a la sismología, como la geofísica marina, la sismología volcánica y el estudio del riesgo (amenaza y vulnerabilidad) sísmica y volcánica.

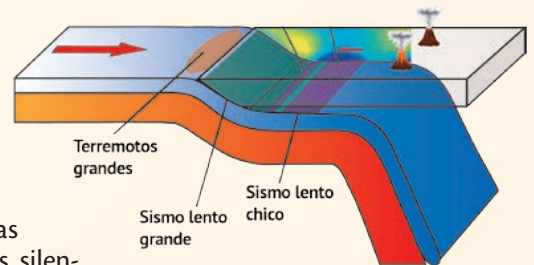
Los once investigadores adscritos al Departamento intentan entender los sismos desde diferentes enfoques; por sus diversas características algunos son rápidos, otros silenciosos o lentos, algunos duran seis meses y otros minutos o segundos. Todas las variantes alrededor de este fenómeno son su materia de estudio.

Cada investigador del Departamento publica dos artículos por año, en promedio, y alcanzan cerca de 300 citas anuales entre todos. Además de los investigadores hay dos técnicos académicos y estudiantes de licenciatura, maestría y doctorado.

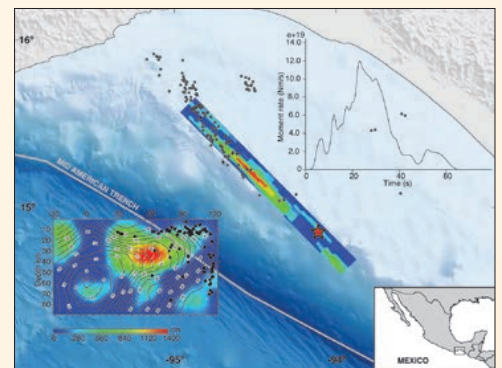
Finalmente, Allen Leroy Husker destaca que en la actualidad el Servicio maneja tecnología que ayuda a estudiar la actividad sísmica desde diversos enfoques. “Los nuevos equipos permiten estudiar el movimiento de la placa tectónica, observar la acumulación de esfuerzos, cómo una empuja contra la otra y con ello se abren nuevas líneas de investigación”. Como geofísicos, destaca, confirman que la Tierra nunca está quieta, por el contrario, se mueve todo el tiempo ●



Una tomografía, hecha por el doctor Husker, debajo de México que muestra la geometría de la placa de Cocos dentro del manto.



La geometría de la placa de Cocos debajo de Guerrero, México.



Muestra del deslizamiento en la falla del terremoto de Mw 8.2 de Tehuantepec en septiembre de 2017.

De 3 a 4 años

es el periodo entre un sismo lento y otro. Cada sismo lento dura unos meses.

La Unidad Michoacán del Instituto de Geofísica

Desde principios de la década de los noventa del siglo pasado, el Instituto de Geofísica inició actividades en Michoacán.

YASSIR ZÁRATE MÉNDEZ

Los dos volcanes más jóvenes de la orografía mexicana se encuentran en territorio michoacano: el Jorullo y el Parícutín. Además, las costas de Michoacán presentan una alta sismicidad, entre otros fenómenos de sumo interés. Por tal razón, el Instituto de Geofísica (IGf) formalizó su colaboración con la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH) en 1993 con el fin de estudiar esos eventos.

Al respecto, el doctor Avto Gogichaishvili, de la Unidad Michoacán del IGf, destaca la participación del doctor Víctor Hugo Garduño, fundador del Instituto de Ciencias de la Tierra de la UMSNH. El siguiente paso en firme fue la construcción del Observatorio de Centelleo Interplanetario.



Vista aérea de la antena del radiotelescopio de centelleo interplanetario (MEXART) de Coeneo, Mich. Sede principal del Laboratorio Nacional de Clima Espacial (LANCE).

El Mexart

A primera vista, el Observatorio de Centelleo Interplanetario, ubicado en Coeneo, se limita a ser un campo tachonado de cruces y de cableados que poco dicen al común de las personas. Sin embargo, el Observatorio, también conocido como Mexart, siglas en inglés de Mexican Array Radiotele-

scope, cumple una tarea fundamental para escudriñar el cosmos.

Este observatorio es el primero de gran área construido en América Latina, para estudiar tormentas solares y es el tercero en su tipo en operaciones, después de los radiotelescopios de la India y de Japón.

El centelleo interplanetario “es una técnica que se fundamenta en el estudio de las variaciones que pre-



senta la intensidad de la señal que produce una fuente de radio estelar al ser captada por un radiotelescopio”, refiere la página del Mexart.

Minuto a minuto, el Observatorio ofrece un mapa del cielo, posibilitado por las condiciones que presenta Coeneo. “El radiotelescopio de centelleo interplanetario tenía que estar en un lugar alejado de la infraestructura de las grandes ciudades para evitar alguna contaminación”, explica el doctor Gogichaishvili.

Múltiples proyectos

El incremento de investigaciones, colaboraciones y docencia con instituciones locales, y el acercamiento con entidades regionales, como la Universidad de Guadalajara, y otras como el Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH) o la Comisión Federal de Electricidad, motivaron el traslado a Michoacán de más personal académico y administrativo del IGF.

El estrechamiento de nexos con la Universidad Michoacana se consolida en 2006, con la firma de un convenio de colaboración en materia de ciencias de



Desmagnetizador térmico utilizado en estudios paleomagnéticos y arqueomagnéticos.

y el Servicio de Clima Espacial. La más reciente fundación es el Laboratorio Nacional de Clima Espacial, en 2016, que cuenta con el apoyo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt).

El Servicio Arqueomagnético Nacional

En 2015 se inaugura el SAN, que se encuentra orientado a la datación de material arqueológico.

“Se trata del primer laboratorio

con el concepto de servicio en su género en Iberoamérica. Es el fruto de la colaboración entre el IGF, el INAH, el Colegio de Michoacán, la Universidad Michoacana y la Universidad de Guadalajara”, detalla el doctor Gogichaishvili.

La finalidad del SAN es la datación de materiales arqueológicos. Es una aplicación de la geofísica en antropología y en arqueología, y, por lo tanto, se trata de investigación transversal y de frontera.

Hoy en día, el laboratorio trabaja en el régimen de 24 horas, debido al ingreso continuo de muestras. De este modo se busca resolver problemas arqueológicos, partiendo del hecho de que no todas las piezas se pue-



Microscopio petrográfico y estereoscópico para análisis de muestras.



Equipo de Mexart trabajando.



Toma de muestras para estudios arqueomagnéticos.

la Tierra. Un año más tarde se funda el Laboratorio Interinstitucional de Magnetismo Natural.

Posteriormente, se creó el Laboratorio de Arqueometría, en conjunto con el Centro local del INAH en 2009, al que siguió el Laboratorio Universitario de Geofísica Ambiental, en coordinación con el Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, en 2010, y los laboratorios de Microanálisis, de Petrología, de Vulcanología y de Análisis de Riesgo del Centro Mexicano de Innovación en Energía Geotérmica (CEMIE Geo), en 2014.

Poco más adelante se articulan el Laboratorio Interinstitucional de Arqueomagnetismo (LARQUEMAG)

den estudiar, solo aquellas que han tenido exposición al fuego, por ejemplo, la cerámica, que es el material más abundante en cualquier excavación arqueológica, pero también hornos, pisos quemados y estucos, además de pinturas murales y rupestres.

Alianzas

La Unidad Michoacán se integró al proyecto del Centro Mexicano de Innovación en Energía Geotérmica financiado por la Secretaría de Energía y el Conacyt, para promover y acelerar el uso y el desarrollo de esta alternativa energética en el país.

El CEMIE Geo busca unificar el conocimiento en materia de energía geotérmica, logrando sinergias que permitan orientar las actividades de innovación, investigación científica y desarrollo tecnológico, así como promover la formación de recursos humanos, con el fin de contribuir a la generación de valor económico y al fortalecimiento de la industria geotérmica del país.

En el marco de este proyecto se crearon los laboratorios de Microanálisis (microsonda electrónica, espectroscopios Raman y FTIR, microscopio electrónico de barrido y difracción de rayos X), de Petrología Experimental (piston cylinder, microscopios petrográficos y estereoscópicos), de Análisis de Riesgos (equipo de cómputo, software e impresión), de Vulcanología (separador magnético Frantz) y de Geoquímica de Fluidos (dos cromatógrafos de gases, un cromatógrafo de iones, analizador TIC/TOC). Con estos laboratorios la Unidad Michoacán está desarrollando nuevo conocimiento en materia



Laboratorio de Microanálisis, Microsonda Electrónica (EPMA) empleada para el análisis elemental cuantitativo y cualitativo a escala micrométrica.



Energía geotérmica.



Reunión del grupo de trabajo del Laboratorio Nacional de Clima Espacial (LANCE).

portante en el desarrollo de una política pública de prevención de desastres ocasionados por fenómenos naturales en México.

La UNAM, a través del Instituto de Geofísica y del Laboratorio Nacional de Clima Espacial, brindará un servicio certificado de alerta temprana al Sistema Nacional de Protección Civil.

Vocación de servicio

La Unidad Michoacán del IGf está organizada en tres secciones. La primera es Heliofísica y Clima Espacial; la segunda es Geomagnetismo y Geofísica Ambiental; y la tercera es una instaurada en 2010,

de energía geotérmica, promoviendo la formación de recursos humanos, con el fin de contribuir a la generación de valor económico y al fortalecimiento de la geotermia en el país.

con temas relacionados con Peligros y Riesgos por Fenómenos Naturales.

Los objetivos de estudio y acciones prioritarias de la Unidad son la cartografía del campo volcánico Michoacán-Guanajuato; asimismo, identificar los peligros por fenómenos naturales, erupciones, sismos, deslizamientos o inundaciones, enfocándose en el estado de Michoacán. También realizar estudios vulcanológicos, petrológicos y geofísicos, aplicados a la geotermia y mejoramiento de la red sísmica de la región, empleando la cobertura del Servicio Sismológico Nacional. En cuanto a la sección de geofísica destaca el estudio de tormentas solares y clima espacial.

De igual modo, se interesan en el estudio del patrimonio cultural y arqueológico del estado y del país, a través del SAN o aplicaciones de técnicas magnéticas, para determinar la cronología de los contextos arqueológicos. Y una parte importante en la esfera de la geofísica ambiental es la aplicación de técnicas magnéticas, para monitorear, medir y diagnosticar contaminación en suelos y plantas.

En suma, la Unidad Michoacán del IGf cumple con numerosas tareas y brinda importantes servicios a la academia y a la sociedad en su conjunto ●



Actividades de divulgación y enseñanza realizadas en el Volcancito de la Unidad Michoacán.

Los estudios realizados en geotermia permitieron a los investigadores de la Unidad Michoacán participar en el proyecto GEMex, Cooperación México Europa para la investigación de sistemas geotérmicos mejorados y sistemas geotérmicos súper calientes.

Certificación al Laboratorio Nacional de Clima Espacial

El 17 de mayo de 2019 el grupo de Clima Espacial, con el apoyo del proyecto de Cátedras Conacyt, logró la certificación internacional bajo la norma ISO 9001 del servicio de alertamiento de clima espacial. Este servicio es el primero en el Instituto de Geofísica en conseguir su certificación. Dicho logro marca un precedente im-

Los Servicios Geofísicos de la UNAM: un apoyo a la sociedad

Información confiable, generada por equipos de punta, con observaciones y mediciones cuidadosas, es la proporcionada por los servicios geofísicos de la UNAM.

YASSIR ZÁRATE MÉNDEZ

EL INSTITUTO de Geofísica tiene a su cargo los servicios Sismológico Nacional, Mareográfico Nacional, Magnético, Solarimétrico, de Clima Espacial y de Geodesia Satelital. En su conjunto, han sido un repositorio de información para la Universidad y para la sociedad en general.

Los servicios geofísicos (SG) tienen como propósito acumular datos, estudiar a fondo el fenómeno del que se trate (campo magnético, sismos, mareas, tsunamis, radiación, tormentas solares), con lo que fortalecen el vínculo entre la Universidad, el estudio del mismo fenómeno y la utilidad que tiene la información para la sociedad.

Como se verá en las siguientes páginas, cada uno de estos entes genera un beneficio directo, a partir de datos recabados minuto a minuto, durante todos los días del año.

Tarea institucional

En este breve recorrido introductorio por los SG nos acompaña su coordinador, el maestro Juan Esteban Hernández Quintero, responsable también del Servicio Magnético.

De entrada, nos explica que los SG están incorporados al Instituto de Geofísica porque la naturaleza de los datos recabados a través de estaciones, observatorios, redes satelitales y demás instrumentos “son del ámbito de la geofísica, que nos ayudan a resolver problemas”.

Pero por encima de cualquier tarea, se encuentra la encomienda de brindar un servicio a la población. Ya sea a través de la emisión de alertas, el estudio de eventos puntuales o la redacción de documentos de investigación, los SG operados por la Universidad Nacional tienen en su genética el auxilio a la gente.

“Los servicios geofísicos ayudan al país al ser un vínculo mediador entre la información dura, que aparece, por ejemplo, en la localización, la magnitud y la duración de un sismo”, ejemplifica Hernández Quintero.

Esa información es crucial para la sociedad, a la que llega a través de los gobiernos municipales, locales o federal, para la implementación de las acciones conducentes.

Prevención de desastres

Por su propia naturaleza, los servicios geofísicos mantienen una estrecha relación con las autoridades de protección civil, como refieren los responsables de cada uno de estos.

Supongamos que ocurre un terremoto en Chile. La primera información se generaría en el Servicio Sismológico Nacional, pero también hay una relación muy importante con el Servicio Mareográfico Nacional. ¿Qué pasa si este servicio detecta un tsunami que pueda llegar a afectar las costas del Pacífico mexicano? Nos responde el maestro Esteban Hernández.

“La cadena que debe seguir este proceso empieza cuando el Servicio Mareográfico informa a las autoridades de protección civil o al Centro Nacional de Prevención de Desastres. Ellos hacen una valoración, y allí es donde incursiona la utilidad de los investigadores y los académicos en general, que den la información para hacer una estimación del posible daño o la importancia del peligro que pueda causar este probable tsunami. Mediante la intercomunicación de las autoridades se toman las decisiones, que dependiendo del grado de peligrosidad o de amenaza, pueden canalizarse a instancias a nivel federal para la toma de decisiones”.

Investigación

Además, los servicios geofísicos ayudan al conocimiento de nuestro país. Como detalla Hernández Quintero, son instrumentos “de apoyo a la investigación, mediante la producción de información de alta calidad con la certificación correspondiente”.

En esta tesitura, agrega Esteban Hernández Quintero, es “responsabilidad de la UNAM el buen desempeño de la operación, puesta en marcha, mantenimiento preventivo y correctivo de las respectivas redes de estaciones y observatorios”.

Debemos ser conscientes de que la Universidad tiene entre sus objetivos principales la difusión de la ciencia, la comunicación y la comprensión de estos fenómenos.

“Nuestro papel es, principalmente, dar a conocer a la población, las acciones de prevención y las medidas que debemos de considerar de importancia, en el caso de un sismo, de tormentas solares o de la erupción de un volcán”, finaliza el coordinador de los servicios geofísicos ●

El incesante movimiento de la Tierra

y el Servicio Sismológico Nacional

Los sismos ocurren a diario. Sin embargo, la mayoría de las veces pasan desapercibidos para las personas. Pero no para una red como la del Servicio Sismológico Nacional, adscrito al Instituto de Geofísica.

YASSIR ZÁRATE MÉNDEZ

“**EL SERVICIO** Sismológico Nacional (SSN) es la entidad encargada de monitorear toda la sismicidad que ocurre en el país. También es el principal proveedor de datos sismológicos para investigación y para generar conocimiento nuevo en torno al fenómeno sísmico”, detalla la jefa del SSN, la doctora Xyoli Pérez Campos.

tir el monitoreo de la sismicidad en el mundo y en el territorio nacional. Hubo tres estaciones originalmente, refiere la jefa del SSN.

En 1929, cuando la Universidad Nacional obtiene la autonomía, también se le encargan otras entidades, como el Instituto Geológico Mexicano, que tenía bajo su operación al Sismológico.



Fotografía más antigua de la primera estación sismológica cuando se inauguró el SSN.



Edificio del SSN ubicado en Tacubaya.



Instituto Geológico Mexicano en 1929.



Sismógrafo en registro.



Sensor sísmico.

Incorporaciones

Fundado el 5 de septiembre de 1910, el SSN tuvo su primera estación central en Tacubaya, donde también se habilitó un observatorio astronómico. Esas instalaciones ahora albergan al Museo de Geofísica, a cargo del Instituto de Geofísica de la UNAM (IGf).

A inicios del siglo XX se convocó una convención de sismología y México participó en ella. En ese encuentro, el país se comprometió a integrar una red para permi-

La incorporación del SSN a la UNAM representa ventajas únicas, apunta la doctora Pérez Campos. Y es que en la Universidad se encuentra el personal técnico capacitado e investigadores dedicados al estudio de la sismología en México.

“Esto ha permitido darle continuidad a la operación y a poder comprender el fenómeno sísmico en nuestro país. También la UNAM ha sido muy responsable en buscar y garantizar los recursos para que este servicio

opere de manera continua durante todos estos años”, asienta.

La historia del SSN puede dividirse en por lo menos tres etapas. La primera abarca su fundación, con los sismógrafos de la época. La siguiente es un cambio a aparatos más pequeños, destacando la incorporación de la telemetría y de una red desarrollada por el Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas, denominada RESMAC, acrónimo de Red Sismológica Mexicana de Apertura Continental.

La tercera coincide con la incorporación de la nueva tecnología en sismómetros; se trata de dispositivos de banda ancha, que permiten medir un mayor espectro de la señal sísmica. Esto inicia en el SSN a principios de los años 90, y hoy en día es el equipo que opera. “Es lo último que se tiene en el mundo”, recalca la titular del SSN.

Cobertura total

En términos de infraestructura, el SSN cuenta con dos grandes grupos. El primero abarca todas las estaciones sismológicas que se encuentran en el territorio nacional. Al respecto, gestiona 63 observatorios sismológicos, que utilizan tres equipos para la medición y la caracterización del movimiento del terreno. A esto suman un sismómetro, que mide la velocidad; un acelerómetro,

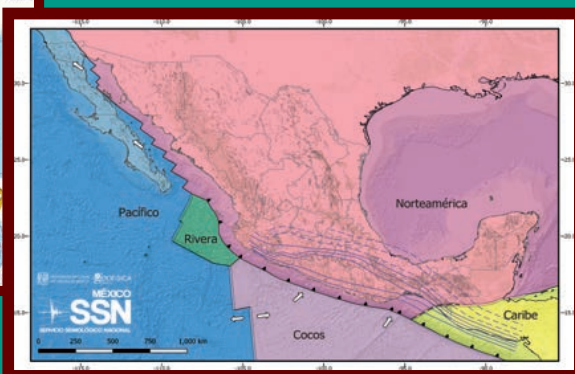
De igual forma, el SSN opera una estación hidroacústica, compuesta por tres estaciones sismológicas, ubicadas en Isla Socorro, en el archipiélago de Revillagigedo.

De manera más específica, las estaciones cuentan con sismómetros de banda ancha, que permiten caracterizar y registrar el movimiento “con periodos que van desde 120 segundos, es decir, le toma 120 segundos al suelo moverse de un lado a otro, hasta 50 hertz”, destaca la doctora Pérez Campos.

El acelerómetro ayuda a “medir los movimientos fuertes generados por sismos grandes, a distancias muy cercanas. Los sismómetros de banda ancha nos permiten incluso medir sismos muy pequeñitos que ocurren cerca de la estación, o bien sismos grandes que suceden al otro lado del mundo”, asienta.

Los observatorios operan receptores GPS/GNSS, que registran el desplazamiento del terreno y también ayudan a la caracterización de la deformación cortical, es decir, cómo se está deformando la corteza terrestre, por el movimiento de las placas tectónicas.

El otro conjunto de infraestructura importante es el que se encuentra en el centro de monitoreo, localizado en Ciudad Universitaria, que incluye los sistemas de cómputo y de comunicaciones para recibir datos, “de



Izquierda: Estación Hidroacústica en la Isla Socorro, instalada en colaboración con el CTBTO (Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty Organization). Dado que México firmó y ratificó el TPCEN, adquirió el compromiso de instalar y operar una pequeña red de estaciones hidroacústicas para colaborar en el monitoreo de pruebas nucleares. En la Isla Socorro se encuentran tres de estas estaciones. Centro: Mapa de las estaciones del Sistema Sismológico Nacional. Derecha: Mapa de las placas tectónicas en México.

que reporta la aceleración; y en 43 de ellos también hay un GPS, que permite ver el desplazamiento que se da en ese punto en específico.

Además, el Servicio cuenta con 30 estaciones instaladas en la zona del valle de México, que comprende la Ciudad de México y su entorno. Estas estaciones poseen sismómetros y algunas de ellas también acelerómetros. Asimismo, el SSN maneja una red pequeña de tres estaciones en el volcán Tacaná, en los límites entre Guatemala y Chiapas.

manera continua y en tiempo real”, a los que se procesa y analiza.

El Servicio cuenta con un sistema automático, “que en el momento en que determina que en esas señales hay un sismo, hace un cálculo rápido de la localización de su origen y de la magnitud”.

Finalmente, y no menos importante, el SSN maneja sistemas de almacenamiento, donde acumula todos los datos que se están registrando, para su posterior distribución a quien lo solicite.

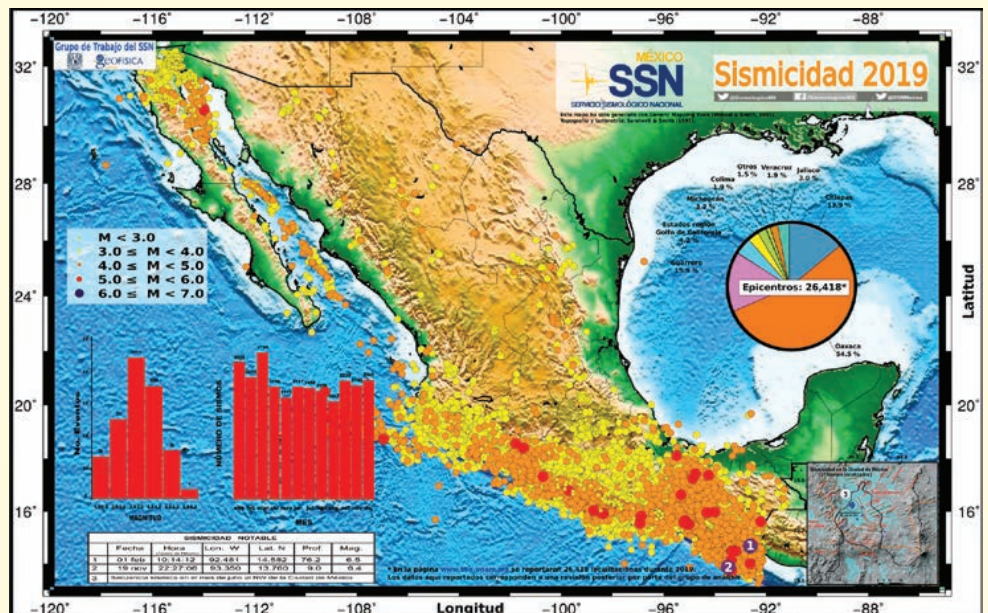
La importancia de los registros

Contar con datos de sismos de nuestro país permite caracterizar el fenómeno sísmico de manera local y nacional. “A pesar de que hay sismos en todo el mundo, todos los sismólogos estamos estudiando los sismos, que no necesariamente se comportan igual. Cada uno tiene sus particularidades. Nuestra tectónica es muy compleja y por lo tanto estamos en un país altamente activo”, destaca la investigadora.

Determinar el acoplamiento entre las placas tectónicas, las deformaciones que se dan como resultado de ello y caracterizar el interior de la Tierra requiere de datos de sismos, y no solo los ocurridos en el territorio mexicano, sino los registrados en otras partes del mundo.

Una de las herramientas usadas para saber lo que hay bajo nuestros pies, son los datos aportados por los sismos, cuyas ondas llegan a cruzar el interior de la Tierra. Eso ayuda a levantar mapas a grandes profundidades.

“Hoy en día también hay técnicas que permiten determinar la estructura de la Tierra, sin usar sismos. Simplemente usando el propio ruido que son vibraciones en el suelo. Eso se ha logrado gracias a que ha mejorado la tecnología de registro y de almacenamiento, que nos permite tener datos continuos”, apunta la doctora Xyoli Pérez.



En la página del Servicio Sismológico Nacional (www.ssn.unam.mx) se reportaron 26,418 localizaciones durante 2019. En rojo las gráficas que muestran el número de sismos registrados cada mes durante todo el 2019 y los eventos que no llegaron a rebasar una magnitud de siete.

Bienestar para la población

El SSN tiene dos tareas fundamentales. Una es avisar sobre la sismicidad que hay en nuestro país, “de manera oportuna y con la mayor precisión posible”. Esta información, sobre el lugar del epicentro y la magnitud, es muy importante para la toma de decisiones y las respuestas ante la emergencia. La localización permite dirigir los esfuerzos de atención a la emergencia, pues el punto de origen es la zona más probable donde ocurran más daños.

Por otro lado, los datos de localización y magnitud ayudan a producir mapas de intensidades. Esos mapas

La otra misión importante que tiene el Servicio es el resguardo y distribución de los datos.

Eso permite ponerlos a disposición de investigadores interesados en estudiar el comportamiento sísmico de nuestro país y el interior de la Tierra.

son creados por la Unidad de Instrumentación Sísmica del Instituto de Ingeniería. “Ellos toman nuestros datos de localización y de magnitud, para generar esos mapas y así es más evidente a dónde dirigir los esfuerzos de atención a la emergencia”, apunta.

Asimismo, la información de localización y magnitud puede evidenciar el potencial tsunamigénico de un sismo, es decir, del potencial que tuvo ese evento para generar un tsunami importante.

“Mandamos esa información, tan pronto la tenemos, al Centro de Alerta de Tsunamis de la Secretaría de Marina. Ellos hacen las estimaciones para ver si va a ocurrir un tsunami, de qué altura se esperaría y en qué zonas del país se debería alertar. Eso es una situación en tiempo real y en caso de que ocurran sismos”, aclara la jefa del SSN.

Toda la información pasa a formar parte de un catálogo sísmico. El personal del SSN se dedica a la revisión continua y mejoramiento del catálogo, para que sea útil en la generación, evaluación y reevaluación del peligro sísmico del país o de diferentes localidades.

La otra misión importante que tiene el Servicio es el resguardo y distribución de los datos. Eso permite po-



Epicentro del sismo ocurrido el 23 de junio de 2020 a las 10.29 horas con una profundidad de cinco kilómetros y ubicado a 23 kilómetros al sur de la comunidad de Crucecita, en las costas del estado de Oaxaca.

nerlos a disposición de investigadores interesados en estudiar el comportamiento sísmico de nuestro país y el interior de la Tierra. De hecho, tienen un resguardo de más de 310,000 sismogramas en papel que datan de 1904, que pueden ser revisados “para analizar esos sismos antiguos, que nos pueden dar información sobre los sismos modernos.

Pero también tenemos una base de datos digital, que se remonta a los años ochenta”, agrega.

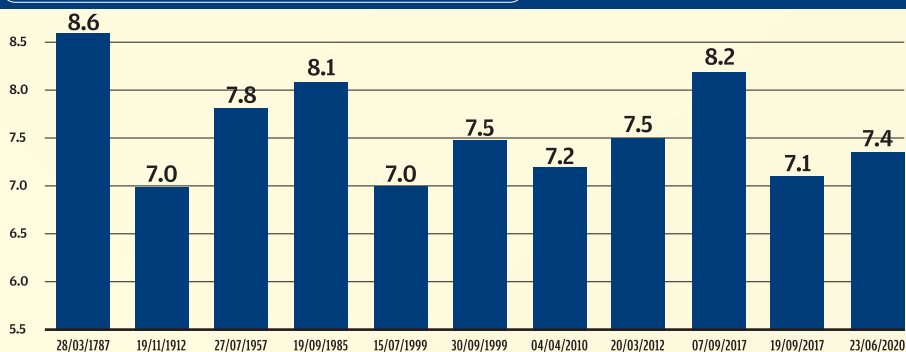
Con toda esta articulación, se mantiene un estrecho contacto con la Coordinación Nacional de Protección Civil, el Centro Nacional de Prevención de Desastres, la Secretaría de Marina y el Centro de Alerta de Tsunamis, entre otras instituciones federales y locales.

De esta manera, el Servicio Sismológico Nacional presta una ayuda invaluable al país ●

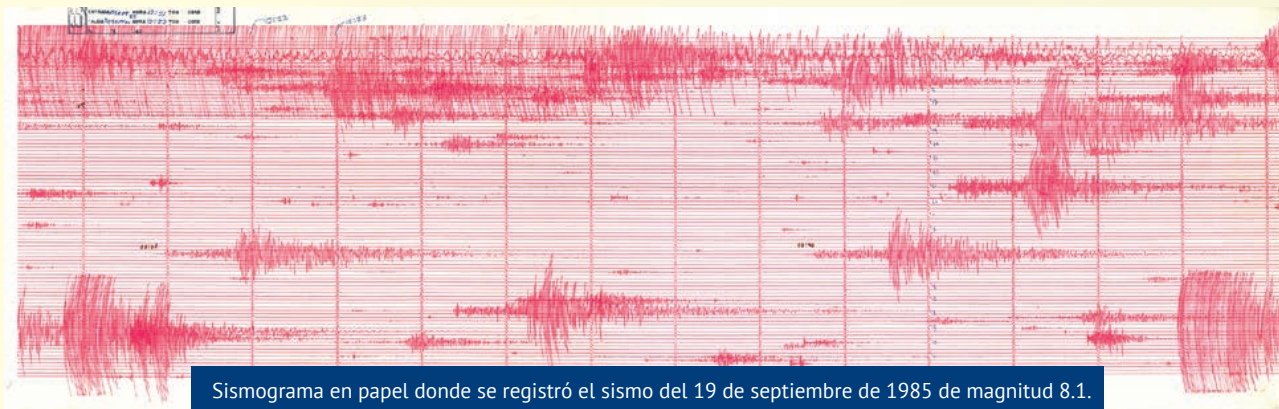
SISMOS Y TERREMOTOS EN MÉXICO

De 1787, dos años antes de la Revolución francesa, se tiene el primer dato de un fuerte movimiento telúrico en México. El sismo de Acambay de 1912 es el primero registrado en el siglo pasado como de gran magnitud. Posteriormente, han ocurrido nueve más de magnitudes similares hasta nuestros días.

SISMOS MÁS FUERTES EN MÉXICO (MAGNITUD DE 7 GRADOS Y MÁS)



FUENTES: INSTITUTO GEOLÓGICO ESTADOUNIDENSE, INCORPORATED RESEARCH INSTITUTIONS FOR SEISMOLOGY



Sismograma en papel donde se registró el sismo del 19 de septiembre de 1985 de magnitud 8.1.

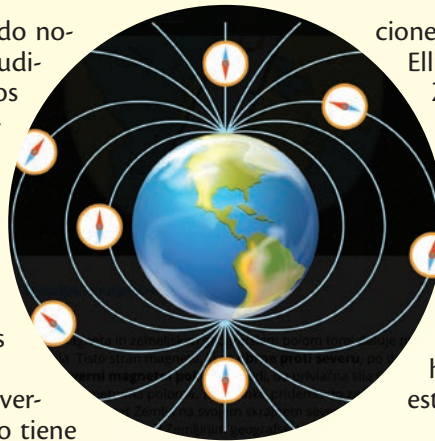
El Servicio Magnético de la UNAM

Uno de los factores que contribuye a la habitabilidad de la Tierra es el campo magnético que la cubre. Sin él, las partículas expelidas por el Sol afectarían la atmósfera y expondrían al planeta a los efectos nocivos de la radiación ultravioleta. De ahí la necesidad de medir la intensidad de este campo.

YASSIR ZÁRATE MÉNDEZ

DESDE LA Antigüedad hemos tenido noticias del geomagnetismo. Las rudimentarias brújulas que guiaron a los barcos a través de los océanos testimonian esa relación singular con el campo magnético de la Tierra. El vínculo se ha vuelto más estrecho y crucial para la humanidad. O al menos para quienes dependen de sistemas de geoposicionamiento o del flujo de electricidad a través de las redes de suministro.

El Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México tiene a su cargo la operación del Servicio Magnético (SM), que ofrece diferentes apoyos a distintos actores sociales.



ciones magnéticas con un magnetómetro Elliot-Dover (H y D), una brújula Negretti-Zambra (I) y un juego de variógrafos Carpentier de registro continuo”.

En medio del fragor revolucionario, el Servicio Magnético inició funciones en agosto de 1914, teniendo como centro de operaciones el observatorio habilitado en el pueblo de Teoloyucan, en el Estado de México. Desde entonces a la fecha, se ha mantenido un registro continuo de este fenómeno.

Un imán enorme

Durante siglos, se ha debatido qué circunstancias originan este fenómeno geofísico. Al respecto, el encargado

Primer Observatorio Magnético instalado en Palacio Nacional en 1879.



Brújula Marina
NEGRETTI-ZAMBRA

Memoria sobre el Departamento Magnético del Observatorio Meteorológico Central de México. Autor: Vicente Reyes, 1884.



Tambor registrador con reloj eléctrico (para producción de magnetogramas c/24 hrs.) marca Ruska 1955; y conjunto de variógrafos para medir tres componentes del campo magnético, marca Askania, (1939), Museo de Geofísica.

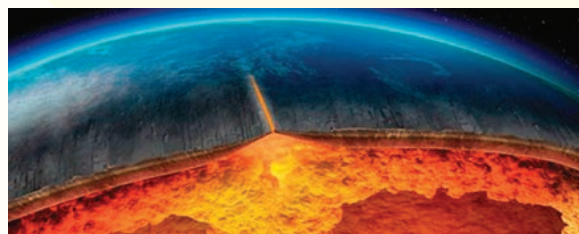
Mediciones históricas

La página electrónica del SM refiere que las primeras mediciones magnéticas en México se remontan a finales del siglo XVIII y principios del XIX. Sin embargo, fue hasta 1879 cuando se estableció el primer observatorio magnético formal, instalándose en Palacio Nacional.

En 1889 se ubicó en el Observatorio Astronómico y Magnético de Tacubaya “un pabellón para observa-

del SM, el maestro Juan Esteban Hernández Quintero, explica que ahora se sabe que “el campo magnético de la Tierra se produce en la frontera entre las capas profundas del planeta: el núcleo y el manto. Y este a su vez origina un campo magnético global. Lo podemos ver en cualquier parte del planeta”.

La Tierra es una suerte de gigantesco imán, o, para ser más precisos, una enorme dinamo que ge-



nera un campo magnético que ayuda a proteger la vida en el planeta.

“Nuestro campo magnético existe debido a un océano de hierro líquido sobrecalentado y en remolino que constituye el núcleo externo. Como un conductor giratorio en una dinamo de bicicleta, este hierro en movimiento crea corrientes eléctricas, que a su vez generan nuestro campo magnético en constante cambio”, explica un documento de la Agencia Espacial Europea.

En el caso de México, las investigaciones han tratado de comprender el nexo entre el campo magnético y otros fenómenos, como el estado del tiempo y, recientemente, con el efecto que tienen las tormentas magnéticas sobre la tecnología.

Estudios con fines prácticos

Hernández Quintero asienta que el estudio del campo magnético ayuda a entender el cambio de polaridad que ha ocurrido en el planeta. Y es que, en diferentes momentos, se han invertido los polos magnéticos de la Tierra. El más reciente ocurrió hace alrededor de 780,000 años.

Relacionado con esto, el polo norte magnético ha tenido un desplazamiento constante, de entre 50 y 60 kilómetros anuales, siempre en dirección norte, en el Océano Ártico, donde se encuentra actualmente, para internarse en Siberia.

Además, hay otras aplicaciones más modernas, asevera el maestro Juan Esteban Hernández, porque gracias al campo magnético es posible identificar los recursos minerales o petrolíferos en México.

Es así como se puede “estudiar el comportamiento del campo magnético en la corteza terrestre y mediante algunas tecnologías que utilizamos, e instrumentos conocidos como magnetómetros, podemos reconocer la existencia de minerales y de grandes yacimientos de hierro, o bien, son los primeros

pasos para hacer un estudio del potencial petrolífero de una cuenca”, detalla.



Magnetómetro Ruska para declinación e inclinación magnética.



Caseta de calibración en la estación de Teoloyucan, Estado de México.



El Servicio Magnético cuenta con distintos tipos de instrumentos para realizar las mediciones en cada región del país, y tomar datos del campo magnético a través del tiempo. Se realizan mediciones en más de 50 lugares distribuidos por todo el territorio nacional.



Mediciones precisas

El SM mide la intensidad del campo magnético y sus variaciones. Al ser un vector, es decir, una cantidad con magnitud, dirección y polaridad, es factible su evaluación.

“Todas esas características son muy importantes. Estos datos nos permiten conocer cómo es la actividad solar, refiriéndonos a la parte magnética. Cómo se está comportando una de las capas que rodean nuestro planeta, conocida como ionosfera. Esa capa es muy importante, porque además de ser activa desde el punto de vista electromagnético, nos ayuda a enviar y recibir señales electromagnéticas. Debemos conocer ese comportamiento”, añade el académico del Instituto de Geofísica.

Además, los datos se procesan, se almacenan y se comparten con instituciones de otros países.

La cadena de producción de datos magnéticos se reparte en este proceso en al menos dos bancos mundiales de datos.

“En el caso específico de nosotros, es el consorcio denominado Intermagnet, una red de observatorios mundiales que se encarga, además, de almacenar la información y de darle difusión. En la parte nacional, los compartimos con otros servicios geofísicos, como el Servicio de Clima Espacial y, en algunos casos, proporcionamos información a los colegas que estudian los volcanes activos. Los investigadores asignados al Popocatepetl reciben esa información y la utilizan para conformar escenarios de actividad volcánica”, apunta.

Infraestructura

El SM cuenta actualmente con una infraestructura importante, subraya su responsable. Incluye instrumentos que ayudan a medir el campo magnético las 24 horas del día, los sie-

te días de la semana. La base la constituye el observatorio geomagnético ubicado en Teoloyucan. “Allí tenemos toda una infraestructura que se encarga de monitorear constantemente el campo geomagnético y, obviamente, tenemos, en algunos casos, instrumentación de reemplazo, en caso de que enfrentemos algún problema de falla de operación”, apunta Hernández Quintero.

Además de Teoloyucan, el Servicio Magnético cuenta con otras 52 estaciones, denominadas de repetición. Con los datos recabados se elabora una cartografía del campo magnético nacional.

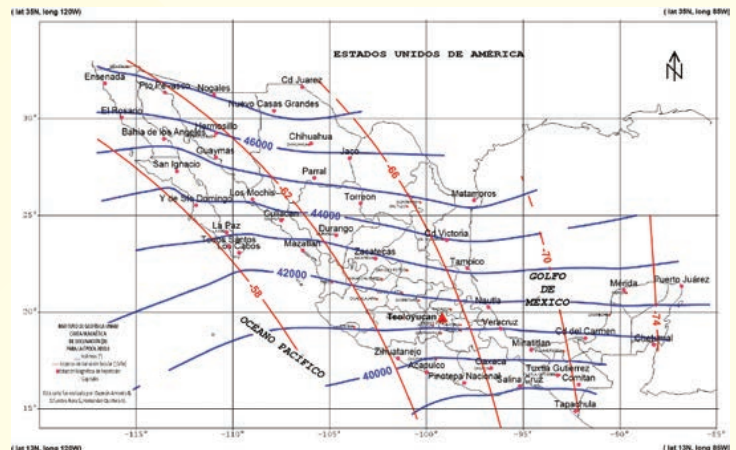
Estas estaciones carecen de instrumentación, lo que obliga a llevar los aparatos a cada uno de los sitios, por lo que toma algún tiempo visitar todos; cada una ayuda a cartografiar el campo magnético a través del tiempo.

“Estamos en un proceso de modernización; estamos desarrollando observatorios de la misma índole que el de Teoloyucan en sitios como Coeneo, Michoacán, en el Observatorio de Centelleo Interplanetario, que forma parte del Servicio de Clima Espacial, y en Mérida, Yucatán. Hay otros sitios potenciales que estamos trabajando, en el norte del país y en Oaxaca”, acota Hernández Quintero.

El Servicio Magnético se apoya básicamente en magnetómetros, instrumentos que lo mismo se encuentran en un hospital que en un observatorio magnético. Gracias a estos dispositivos se efectúan estudios de

Apoyo

Con estas herramientas, el Servicio Magnético operado por el Instituto de Geofísica cumple con el propósito de brindar apoyo a la sociedad en su conjunto, y a sectores muy puntuales en particular. Tal es el caso de usuarios



Las mediciones del campo magnético en cada región del país dan por resultado las cartas magnéticas.



Estaciones del Servicio Magnético en la República Mexicana.



Logo de Intermagnet o Red global de observatorios magnéticos.

como compañías privadas o instituciones que se dedican a evaluar los recursos que se encuentran bajo tierra.

“Con eso hemos podido incursionar en el estudio de pozos petroleros direccionales. Hemos dado información para que se estudie este tipo de perforación en particular, y en general para el estudio de la cartografía magnética”, puntualiza Hernández Quintero, quien agrega que alguna compañía minera les puede solicitar datos.

En un plano más modesto, se puede calibrar una brújula, pero también se pueden identificar los efectos de una tormenta magnética, provocada por el viento solar, que tiene un impacto a escala planetaria. De ahí la estrecha relación con el Servicio de Clima Espacial y con instancias gubernamentales vinculadas con protección civil. Recordemos que una alteración provocada por las partículas solares puede afectar el suministro de energía, la navegación marítima y aérea o las transacciones en los cajeros automáticos.

Además, investigadores de diferentes instituciones piden información, suministrándosela, porque es responsabilidad de la Universidad difundir de manera gratuita este tipo de datos ●



Casetas del Servicio Magnético ubicadas en el municipio de Teoloyucan.

resonancia magnética. En el ámbito geofísico este mismo tipo de instrumentos sirve para evaluar el campo magnético en diferentes niveles.

Mapas de irradiancia.

El Servicio Solarimétrico Mexicano

El Servicio Solarimétrico genera información para el público en general, investigadores, desarrolladores, empresarios y tomadores de decisiones; con esos datos se pueden diseñar políticas públicas para el aprovechamiento de un recurso renovable: la energía solar.

YASSIR ZÁRATE MÉNDEZ

¿CUÁLES SON los niveles de radiación solar en la Ciudad de México? ¿Dónde es más conveniente instalar una *granja solar*? ¿Cuál podría ser la eficiencia energética de un edificio inteligente? Estas y muchas otras preguntas se pueden resolver con los datos aportados por el Servicio Solarimétrico Mexicano (SSM) del Instituto de Geofísica (IGf) de la Universidad Nacional Autónoma de México.

En este recorrido por los servicios geofísicos operados por el IGf, conversamos con el doctor Mauro Valdés Barrón, quien nos ofrece una explicación pormenorizada del SSM y de los beneficios que aporta.

Mapas de irradiancia

En esencia, el Servicio Solarimétrico Mexicano se dedica a la evaluación del recurso solar y a brindar apoyo para que diferentes entidades, en particular las académicas, puedan medir y sepan cómo hacerlo, tomando en cuenta que “es un poco más complicado medir la radiación solar que llegar y colocar un termómetro o un higrómetro”, como apunta Valdés Barrón.

La funcionalidad del SSM implica contar con la instrumentación adecuada, los recursos humanos debidamente capacitados y con objetivos claros y precisos, entre los cuales se encuentra la evaluación del recurso

solar, ahora que hay una convergencia global hacia la optimización de energías no contaminantes.

Como resultado del trabajo hasta ahora realizado, la página electrónica del Servicio Solarimétrico cuenta con mapas de energía disponible, donde se concentran los promedios mensuales del país para radiación global. Esto permite saber cuáles son los sitios idóneos para instalar paneles o concentradores solares, como el concentrador plano, que coloquialmente conocemos como calentador solar para las viviendas. Pero si la intención es instalar equipos de concentración parabólica a un punto, se requiere de otro tipo de información, mucho más precisa.

A tan solo un clic de distancia se encuentra este cúmulo de información, que lo mismo puede servir para la población en general, que para empresarios o emprendedores que buscan en la radiación solar una alternativa energética. Se trata de auténticos mapas de irradiancia que iluminan un futuro diferente. Con esos mapas se pueden instrumentar políticas de desarrollo.

Una red única

La del Servicio Solarimétrico Mexicano es la única red de estaciones en el país que mide radiación solar en hasta 26 componentes. Como sabemos, la radiación

Estación solarimétrica en Ciudad Cuauhtémoc, Chih.



Estación solarimétrica en Guerrero Negro, B.C.





Estación solarimétrica en Gómez Palacio, Dgo.

solar se puede descomponer en diferentes tipos. Por ejemplo, la clasificación más básica es radiación solar global, que es la que nos llega de cualquier parte de la bóveda celeste, incluyendo el Sol; la radiación solar difusa, que es la que llega de cualquier parte de la bóveda celeste, menos la radiación emitida por el Sol; y también está la radiación solar directa. Estas son las tres componentes básicas que se miden en las trece estaciones de la red del SSM.

“Otro aspecto muy importante es que todos nuestros equipos están referenciados a la escala radiométrica mundial. Y la exactitud y los procesos de validación de los datos hacen totalmente confiable nuestra red. Es la que más parámetros mide y es la más exacta del país”, resalta el doctor Valdés, quien no duda en afirmar que el Servicio Solarimétrico Mexicano es un referente nacional, mientras que a nivel mundial está reconocido como “un buen grupo de trabajo”.

En la misma línea de importancia, que es una ventaja que han aprovechado los integrantes del Servicio, es que hay pocas estaciones dentro de la zona intertropical del planeta.

“Eso quiere decir que las instaladas no nada más nos sirven a los países que las ponemos, sino que son importantes a nivel mundial”. Por ejemplo, si hablamos del ozono

en la estratosfera, tenemos que ir hasta la India para encontrar equipos de esta naturaleza, porque en África no hay ninguno. “Y si le damos la vuelta al mundo en la zona intertropical, tenemos cuatro o cinco sensores”, asienta el investigador universitario.

Reconocimiento internacional

El SSM está reconocido como centro regional para la medición de la radiación solar por la Organización Meteorológica Mundial, encargada de regir los procesos de esta naturaleza. “Todo este conocimiento lo va ordenando y es el camino que debe seguir”, apunta Valdés Barrón.

Pero hay otras organizaciones con las que trabaja el Servicio Solarimétrico, como el Laboratorio Nacional de Energías Renovables y la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA, por sus siglas en inglés), ambas de Estados Unidos. Para la evaluación de ozono, hay una estrecha colaboración con los servicios meteorológicos de Cuba y Argentina.

De igual manera, se da intercambio de información con universidades de países de la región, como Nicaragua, Costa Rica y Panamá; con este último se manejan datos sobre radiación ultravioleta, que también se encarga de medir el SSM, mientras que con cubanos y argentinos se trabaja ozono, radiación solar y la calibración de sensores de ozono.

Beneficios

Estudios de disponibilidad de energía solar, capacitación, calibración de sensores, asesoría y, en general, “todo lo que tenga que ver con el proceso de medición de radiación solar, desde la instrumentación hasta el reporte de datos y generación de resultados”.



Estación solarimétrica en Coeneo, Mich, en el Observatorio de Centelleo Interplanetario del Instituto de Geofísica.



Observatorio Central en Ciudad Universitaria, CDMX.

son los productos que ofrece el Servicio Solarimétrico Mexicano del IGf.

En detalle, reconoce que la capacitación se concentra en empresas que “explotan la radiación solar, para que sigan midiendo y evaluando la eficiencia de sus equipos; ofrecemos esos cursos de capacitación para medir y validar los datos”.

Además, a las universidades, centros de estudios y empresas también les brindan la calibración de equipos. En su calidad de centro regional de la Organiza-



Estación solarimétrica en Guerrero Negro, B.C.



Estación solarimétrica en Hermosillo, Son.



Cámara de condiciones atmosféricas de bóveda celeste (skycam), Observatorio Central en Ciudad Universitaria, CDMX.



Contador de partículas PM 2.5, Observatorio Central en Ciudad Universitaria, CDMX.

ción Meteorológica Mundial, cuenta con la capacidad de calibrar equipos, cuya información generada tiene validez internacional. “Está referenciada y tiene una trazabilidad a un grupo mundial”, asienta.

Los integrantes del Servicio Solarimétrico Mexicano pueden realizar las calibraciones de sensores de radiación y la evaluación de la disponibilidad del recurso. Y es que las inversiones para la explotación del recurso solar son muy costosas. Difícilmente una empresa puede poner un parque ella sola con fondos propios. Entonces busca financiamiento y los bancos, para otorgar créditos, deben tener un respaldo que garantice que la instalación de equipo será económicamente redituable.

“En este caso no basta con tener el respaldo del terreno que se va a ocupar, porque los terrenos se ubican en zonas desérticas, no tienen mucho valor. Entonces necesitan otro tipo de aval. Y parte de ese respaldo responde a un principio muy sencillo: ‘Sí, es cierto, se va a generar lo que se está proyectando, porque hay ese régimen de radiación solar’. Eso lo podemos hacer nosotros. Hacemos el estudio en el sitio y les decimos ‘Esto es tu curva de energía y con esto la eficiencia y la cantidad de paneles que vas a colocar, puedes generar esta cantidad de energía’”, abunda el doctor Valdés.

En el año 2000, integrantes del SSM colocaron la red de sensores de radiación solar ultravioleta de la Ciudad de México. Se trató de diez estaciones en diferentes partes de la capital de la república. A la sazón, la Secretaría del Medio Ambiente tenía dividida la ciudad en cinco zonas (noroeste, noreste, centro, sureste y suroeste), con lo que instalaron dos estaciones en cada una y son las que utilizan para dar el índice ultravioleta a la población. El gobierno capitalino ya había diseñado la red, mientras que los especialistas de la Universidad Nacional habilitaron los equipos y echaron a andar los programas para el procesamiento de la información. Todo esto permite seguir minuto a minuto la radiación ultravioleta, banda A y banda B, y el índice ultravioleta.

Por si fuera poco, produjeron un atlas de riesgo de radiación ultravioleta, incorporado en el atlas de riesgos del Centro Nacional de Prevención de Desastres, y en el que se muestran las mayores concentraciones en promedio para el territorio mexicano. Asimismo, los integrantes del equipo de trabajo dirigen tesis y orientan investigaciones.

De esta manera, el Servicio Solarimétrico Mexicano, del Instituto de Geofísica de la UNAM, contribuye en diferentes campos al crecimiento del país ●

Alcances del Servicio Mareográfico Nacional



Todos los días, el Servicio Mareográfico Nacional vigila los litorales del país para recabar información sobre fenómenos como la marea de tormenta o los tsunamis, con lo que presta un apoyo sin igual al país.

YASSIR ZÁRATE MÉNDEZ

DESDE 1952, el Instituto de Geofísica tiene bajo su responsabilidad la operación del Servicio Mareográfico Nacional (SMN). En palabras de su actual responsable, Octavio Gómez Ramos, el SMN tiene como propósito fundamental “el monitoreo del nivel del mar en costas de México, para aplicaciones que abarcan desde lo ingenieril hasta cuestiones científicas”.

Un breve recuento

Con la Segunda Guerra Mundial como telón de fondo, el gobierno de Estados Unidos tuvo el interés y la necesidad de contar con mapas de los países latinoamericanos. Por esta razón, encargó al United States Coast and Geodetic Survey (USC&GS) esta tarea.

Junto con el ejército estadounidense, el USC&GS dio forma al Inter American Geodetic Survey (IAGS). Fue así como inició una estrecha colaboración con autoridades mexicanas para elaborar mapas y para establecer una red de monitoreo de las costas, en particular las del Océano Pacífico.

“Debido a que para la elaboración de mapas se requería de nivelaciones y mediciones del nivel medio del mar, el IAGS instaló mareógrafos en muchos países latinoamericanos, incluido México. Así fue como las primeras mediciones sistemáticas del nivel del mar en puertos mexicanos fueron realizadas por el IAGS en colaboración con la Secretaría de la Defensa Nacional en el año de 1942. Entre 1942 y 1952 se realizaron mediciones en seis puertos nacionales. Esta información fue utilizada para la operación de esos puertos, y para el control vertical en la elaboración de la carta 1:500,000”, refiere un documento elaborado por el SMN.

Desde 1952, la Universidad Nacional tomó el relevo de la red formada diez años antes. A través del Instituto de Geofísica inició la confección del Servicio Mareográfico Nacional. Aún con el apoyo del IAGS y de la Secretaría de Marina, se amplió hasta “14 sitios de medición permanentes a finales de la década de los setenta” del siglo pasado.

En ese periodo también se efectuaron mediciones de “forma temporal en otros once sitios, por periodos de un año, para conocer los componentes armónicos de la ma-

rea”. Desde entonces a la fecha, el SMN levanta y analiza información en más de 30 localidades del país.

Alcances del Servicio Mareográfico Nacional

La información generada por el SMN va más allá de las aplicaciones científicas, puntualiza Octavio Gómez Ramos. La idea es entregar de forma directa a la gente la información producida, “no solo a los científicos, sino a la población en general; esa es la idea que tenemos todos los servicios”, apunta.

De este modo, el monitoreo se enfoca en identificar variaciones en el nivel del mar a corto y largo plazo. “Cuando ocurre un gran sismo puede haber un desplazamiento en la plataforma, y nosotros debemos determinar, por ejemplo, si lo que está subiendo es el nivel del mar, o si más bien se hundió la tierra”, explica el también académico.

Sin embargo, la aplicación que más se utiliza del SMN es para servicios ingenieriles, obras en costas y pronósticos de marea astronómica, sin dejar de lado actividades de educación y divulgación, porque muchas veces el público no tiene claro todo lo que implican los cambios en el nivel del mar. Solo sabe que en las playas la marea sube y luego baja, pero cuando hay eventos importantes, como los tsunamis, se reconoce la importancia de monitorear el nivel del mar, estudiarlo y saber cómo y por qué pasan estos fenómenos.

El propio Servicio establece que “la información generada por la red mareográfica ha sido fundamental para la operación portuaria, la navegación, la corrección de cartas náuticas, la delimitación de la zona federal marítimo terrestre, y la proyección y construcción de obras en zonas costeras. La información obtenida sobre los cambios en el nivel del mar también ha permitido apoyar el desarrollo del conocimiento de la dinámica del Pacífico tropical nororiental y del Golfo de California”.

Destaca que la red ha permitido el registro de variaciones en el nivel del mar producidas por tsunamis, marea de tormenta, corrientes costeras, ingeniería costera, flujos cenotes-océano, fenómenos oceanográficos de gran escala como “El Niño”, y desplazamientos

de la corteza terrestre producidos por sismos y movimientos telúricos lentos.

Es muy común que, por ejemplo, en los medios de comunicación se difundan notas en las que se menciona que “el mar se retiró de la costa sin causa aparente”. Entender por qué ocurren este tipo de fenómenos forma parte de las acciones del SMN, con lo que “se contribuye de manera directa al bienestar de la sociedad”.

Apoyo conjunto

La academia, empresarios y la población en general son los beneficiarios de la información generada por el SMN. Hasta ahora el Servicio cuenta con 16 estaciones de monitoreo en el Golfo de México y 12 en el Océano Pacífico; de hecho, todos los estados con litoral en la región del Pacífico central cuentan con una estación de monitoreo.

“Se ha dado particular interés a instrumentar mejor el Pacífico, porque es más susceptible a eventos de tsunami, aunque el Golfo también es muy importante, porque, aunque no sea tan susceptible a tsunamis, lo es a otros fenómenos tales como la marea de tormenta”, abunda el jefe del SMN.

En cuanto al Golfo de California, en los años setenta del siglo pasado se llegó a un convenio con el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, que debido a su cercanía tendría a su cargo “monitorear esa zona de la península y del Golfo de Baja California, mientras que el resto le correspondería al SMN”.

Por la naturaleza de los fenómenos, hay una relación crucial con las autoridades de protección civil. De hecho, el Servicio Mareográfico Nacional es uno de los socios fundadores del Sistema Nacional de Alerta de Tsunamis (SINAT), a los que provee información y estudios científicos.

Además, el SMN pertenece a un consorcio internacional: la Comisión Oceanográfica Intergubernamental, organismo dependiente de la UNESCO, al que suministra datos del nivel del mar, con lo que se integra a una red global, “que cubre todo el mundo, varios países comparten sus datos de monitoreo, y eso es bastante útil, particularmente en fenómenos de gran escala, como los tsunamis”, apunta Gómez Ramos.

Infraestructura

El SMN cuenta con dos grandes áreas. Una se encuentra en las instalaciones del Instituto de Geofísica, en Ciudad Universitaria, donde se han instalado equipos de telecomunicaciones para recibir datos, que se suministran a través de internet y del satélite GOES, para lo que se cuenta con una antena GOES de recepción en el techo del Instituto.

También hay equipo de cómputo para el procesamiento de la información y, detalle de suma importancia, para la distribución de datos a los asociados, del país y del extranjero, así como para la publicación en in-

ternet. De igual manera, un compacto equipo de analistas se encarga de procesar la información, mientras que personal en campo mantiene e instala el equipo de las estaciones.

Adicionalmente, el SMN se encuentra en 28 ubicaciones en las costas de México. Cada caseta mareográfica posee un conjunto de sensores que revisan el nivel del mar, el cual se trata de medir de modo redundante, es decir, que haya al menos tres sensores que operen por si alguno llega a fallar.

“También medimos variables meteorológicas, porque muchas veces vemos cambios en el nivel del mar que de entrada no sabemos a qué se deben, y entonces revisando variables tales como la presión atmosférica o la velocidad del viento, nos podemos dar una mejor idea de qué es lo que sucede. También tenemos en algunas estaciones sensores de GPS, para saber si los cambios en el nivel no se deben realmente a una elevación o a un hundimiento del suelo. Y equipo de transmisión redundante por satélite y por internet”, agrega el jefe del SMN.

Gracias a este equipo, el SMN puede generar los siguientes productos: datos en tiempo casi real del nivel del mar de las costas mexicanas, así como de diversas variables meteorológicas, como viento, temperatura y presión; datos históricos de nivel del mar de las costas mexicanas validados; reportes de eventos y boletines de prensa acerca de eventos relacionados con cambios en el nivel del mar y eventos extremos que lo afecten; tablas numéricas y calendarios gráficos de pronósticos de marea astronómica.

Es así como el SMN, el Instituto de Geofísica y la UNAM ayudan en temas de relevancia nacional ●



Laboratorios

Columna vertebral de la ciencia

El conocimiento se imparte en las aulas, pero es en los laboratorios de investigación donde la ciencia alcanza su máximo esplendor.

JOSÉ ANTONIO ALONSO GARCÍA



UNA PARTE fundamental de las investigaciones que se efectúan en el Instituto de Geofísica (IGf) se desarrolla en sus diferentes laboratorios. Su misión es obtener datos y realizar su tratamiento con una alta calidad dentro de los ámbitos geofísico, geológico, geoquímico, geodésico y de ciencias espaciales que permitan identificar y caracterizar fenómenos naturales relacionados con las ciencias de la Tierra.

Los resultados obtenidos colaboran en el mejor conocimiento y resolución de interrogantes en investigaciones de ciencia básica, además de que aportan soluciones a problemas de ingeniería, ambientales, de prevención de fenómenos naturales geológicos y geofísicos.

Casi una miniuniversidad

Hace apenas dos años en el IGf se formó una coordinación, pues “nadie sabía bien a bien cuántos laboratorios había en el Instituto”, afirma el doctor Raymundo Martínez, el coordinador. En un primer recuento rápido solo habían aparecido una docena, pero en una segunda revisión exhaustiva ya fueron 36. En la mayoría de los laboratorios se investigan fenómenos geoquímicos y geológicos, pero también se cuenta con laboratorios que caracterizan fenómenos geofísicos como el estudio de sucesos magnéticos pasados (paleomagnetismo) o el tratamiento e interpretación de datos geofísicos. Hay más de 100 académicos en el Instituto, entre investigadores y técnicos, y el trabajo que desarrollan es muy variado. “El IGf es casi una miniuniversidad”.

Actualmente, el Instituto cuenta con 36 laboratorios, entre ellos un Laboratorio Nacional, el de Clima Espacial, y participa en los trabajos de otros tres: Nacional de Geoquímica y Mineralogía, Nacional de Observación

de la Tierra y Nacional de Buques Oceanográficos, adscritos a otras entidades.

Además, participa en seis laboratorios interinstitucionales. También cuenta con seis laboratorios universitarios y 20 de apoyo a la investigación. En Ciudad Universitaria se ubican 24 y 12 en la Unidad Michoacán.

Algunos son únicos en México y Latinoamérica por las técnicas de punta desarrolladas y por la infraestructura analítica. Sus resultados se aprovechan en investigaciones de ciencia básica y aplicada y en la prevención y alertamiento de fenómenos naturales, por lo que tienen un alto impacto científico, social y económico.

Al servicio de las autoridades y de la empresa privada

Todos estos laboratorios son esencialmente de investigación, la mayoría de ciencia básica, que no tiene aplicación inmediata. No obstante, muchos de los análisis, tanto geofísicos como geoquímicos, se ofrecen a instituciones gubernamentales o a empresas, refiere el doctor Martínez. Uno de los muchos ejemplos está en el Laboratorio de Química Analítica, donde los científicos hacen muestras de aguas de diferentes sitios mineros y volcánicos para ver si hay cambios que puedan predecir erupciones volcánicas o la contaminación de cauces fluviales.

En los laboratorios también se forma personal especializado en todo tipo de análisis relacionados con las geociencias; además, ofrecen facilidades para que acudan otros investigadores, estudiantes o técnicos interesados en las diferentes herramientas y técnicas con que se realizan los trabajos.

“No solo ofrecemos los servicios en México. Hemos recibido a investigadores y solicitudes de servicios de Chile, Argentina, Bolivia, Colombia”, remarca el doctor

Martínez. “Somos el país latinoamericano líder en algunos de estos laboratorios. Por ejemplo, el Laboratorio Universitario de Geoquímica Isotópica cuenta con espectrómetros de masas para hacer fechamientos. Solo hay uno parecido en Brasil; Argentina y Chile están tratando de implementarlo, pero no es fácil instalar y equipar un laboratorio de estos”.

Un espectrómetro de masas cuesta varios millones de pesos y no solo es comprar el equipo, sino el mantenimiento, prosigue el coordinador. Tenemos áreas de química con aire ultralimpio; por ejemplo, donde estamos trabajando la calidad del aire es cien partículas por metro cúbico de aire, que es un ambiente equivalente al de los armadores de microchips para computadoras, porque una pequeña pelusa puede descomponer cualquier resultado de un proceso o análisis. Todo lo que usamos, aire, agua..., tiene que ser ultrapuro.

Algunos laboratorios cuentan con tecnología de punta de la que carecen los demás países de Latinoamérica, y se pone a disposición del público. Incluso, agrega el doctor Martínez, si sus técnicos desean venir a estos laboratorios y hacer ellos mismos los análisis tienen las puertas abiertas. Y algunos sí lo prefieren así.

Afirma el coordinador que los equipos ya no están subutilizados, porque además de dar servicio a los propios científicos del IGf, también de otras dependencias de la UNAM les solicitan análisis, así como de organismos públicos y empresas privadas nacionales, además del número creciente de solicitudes de servicios de países sudamericanos.

LABUNAM, plataforma tecnológica

Como parte del compromiso que la UNAM tiene de vincular sus tareas para beneficio de la sociedad, la

Con este proyecto se está dejando atrás el modelo de trabajo individualizado que da paso a una forma de trabajo más eficiente en la experimentación compartida, con menor costo y que ofrece un mejor aprovechamiento del equipo moderno y especializado.

Para dar a conocer estos compromisos al público en general, se creó la página electrónica **labunam.unam.mx**. Cualquier interesado en conocer este gran mundo de ciencia básica y aplicada puede acceder libremente. “No es fácil”, apunta el doctor Martínez, “porque, según la responsable, la ingeniera Elvia Patricia Bueno Córdoba, en la UNAM hay más de 350 laboratorios. Y la mayoría están abiertos a que vengan investigadores y estudiantes de cualquier nivel: licenciatura, maestría, doctorado, posdoctorado, e inclusive en el programa Veranos de la investigación o en el Día de puertas abiertas también los alumnos de preparatoria pueden acudir a conocerlos”.

Recuerda el doctor Martínez que uno de los grandes resultados históricos de investigación en el IGf es que en los últimos 25 años se han caracterizado y descrito muchas provincias geológicas volcánicas, magmáticas y de rocas antiguas de las que no había información. “Antes, estos trabajos los hacían extranjeros. Venían los norteamericanos y los europeos y se llevaban todas las muestras y en sus países las analizaban y allá publicaban sus textos con los resultados. Pero ahora ya no pasa eso. Gracias a los laboratorios tenemos los controles del muestreo, del análisis, de los datos, de la publicación. Ya no es necesario que vengan de otros países a hacernos este tipo de trabajos. Ahora más bien hacemos colaboraciones académicas con ellos y proyectos conjuntos”.

Las sociedades cada día demandan con más fuerza la participación del mundo académico en el conocimien-



Más de 100 académicos, entre investigadores y técnicos, desarrollan trabajo muy variado dentro de los 36 laboratorios que integran al IGf.

Coordinación de la Investigación Científica ha desarrollado una plataforma tecnológica, a través de la cual se muestra el potencial tecnológico, de investigación y formación de recursos humanos con que cuenta, a la vez de difundir el trabajo de los Laboratorios Nacionales, Universitarios y Unidades de Apoyo del Subsistema de la Investigación Científica.

to y solución de los grandes problemas humanos, no solo con una formación de recursos humanos excelente, sino también con hallazgos científicos que mejoren la cultura de los pueblos, la salud y, hoy más que nunca, el cuidado de los recursos naturales no sustentables del planeta, concluye el doctor Martínez, coordinador de laboratorios del Instituto de Geofísica ●

La actividad del Sol.

Un asunto de seguridad nacional

El Servicio de Clima Espacial México es pionero en monitorear la actividad del Sol y sus efectos en el país. Es un centro regional de alertamiento del International Space Environment Service y fue el primer servicio del organismo internacional en emitir información sobre clima espacial en español.

SANDRA VÁZQUEZ QUIROZ

LA COMPLEJA dinámica interior del Sol se manifiesta en explosiones, cuyos efectos se resienten en el entorno de la Tierra. El campo magnético de nuestro planeta funciona como una coraza natural ante los efectos de las partículas y campos que vienen del Sol, pero en ocasiones esta puede ser vulnerada. Por ejemplo, las auroras boreales son resultado de la interacción de partículas del viento solar que lograron penetrar a la atmósfera de nuestro planeta.

El monitoreo de la actividad solar es una tarea importante ante la vulnerabilidad que tienen tecnologías críticas ante los efectos de una tormenta solar, destaca en entrevista el doctor Juan Américo González-Esparza, responsable del Servicio de Clima Espacial México (SCiESMEX) del Instituto de Geofísica (IGf) de la UNAM.

Aclara que en junio de 2014 se modificó la Ley General de Protección Civil y se incluyeron dentro de los fenómenos perturbadores los fenómenos astronómicos (que incluyen el clima espacial). En ese mismo año se creó el SCiESMEX, y ante la necesidad de desarrollar una red de instrumentos con aplicaciones de clima espacial que cubran el territorio nacional, se estableció, en 2016, el Laboratorio Nacional de Clima Espacial (LANCE).

La meteorología del espacio se puede definir como el estudio y monitoreo de la actividad solar, su propagación por el medio interplanetario y sus efectos en nuestro entorno cercano, aclara el especialista. Sus impactos en la Tierra pueden afectar la operatividad y funcionamiento de sistemas tecnológicos indispensables para la sociedad actual: satélites, tele-



La Oficina para el Uso Pacífico del Espacio Ultraterrestre de las Naciones Unidas considera la colaboración internacional en clima espacial como una de las siete prioridades del programa Space+50, dentro de la agenda 2030 del Desarrollo Sostenible de la ONU.

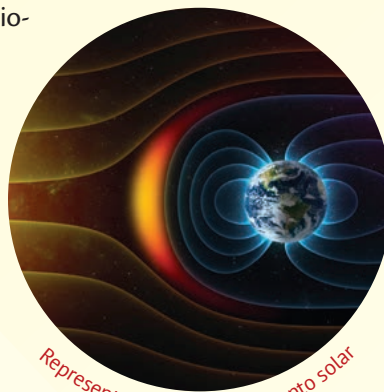
comunicaciones, navegación aérea, sistemas de posicionamiento global y redes de generación y distribución de energía eléctrica.

Tenemos registros de un fenómeno extremo que ocurrió en 1859 y que se conoce como el evento Carrington. Se trató de una tormenta solar que causó afectaciones en los sistemas telegráficos de aquel entonces y una aurora boreal que cubrió todo el planeta observándose incluso en México. El evento Carrington es una de las tormentas solares más intensas de la historia reciente pero sus efectos no fueron desastrosos, destaca Américo González, debido a que en el siglo XIX ninguna de las tecnologías actuales que son vulnerables a las tormentas solares se había inventado todavía, salvo el telégrafo, cuyas líneas reportaron daños muy severos. Sin embargo,

aclara que la ocurrencia de un nuevo evento Carrington en la actualidad tendría consecuencias catastróficas.

El Sol es una estrella y tiene un ciclo de actividad que dura aproximadamente 11 años. Actualmente, como pasa con los sismos, no se puede predecir cuándo va a tener lugar un suceso similar al evento Carrington; sin embargo, lo que sí se sabe es que ocurrirá y se debe estar prevenido, apunta el especialista.

“Las afectaciones abarcarían los sistemas de comunicaciones y las redes de generación y distribución de energía eléctrica; por ello, los efectos de la actividad solar se consideran un asunto de seguridad nacional. Existe interés de parte de los gobiernos, de las autoridades militares y responsables de servicios críticos de tener información para saber qué hacer y cómo actuar”, asienta el investigador del IGf.



Representación gráfica del viento solar

¿Quién monitorea el Sol?

A nivel continental, México fue el cuarto país que comenzó a monitorear la actividad solar, esto a partir de 2014, a través del Servicio de Clima Espacial, que depende del Instituto de Geofísica de la UNAM.

Américo González destaca que México es reconocido a nivel internacional en torno al monitoreo de clima espacial; de hecho, fue el primer servicio en español en el mundo en formar parte del International Space Environment Service, que coordina a todos los servicios de clima espacial a nivel global.

“La colaboración a nivel internacional es importante, no bastan los satélites de Estados Unidos. Se necesitan también observaciones en todo el planeta, es importante conocer las afectaciones en las diferentes regiones de la Tierra y monitorear de manera constante el Sol. Nos interesa a todos tener una base de observaciones que cubran todo el planeta y nos ayuden a entender mejor todo el fenómeno, lo cual a su vez nos permitirá incrementar la resiliencia de los sistemas tecnológicos”, apunta.

¿Qué hace SCiESMEX con la información?

El responsable del Servicio de Clima Espacial destaca que se cuenta con un sistema automatizado de alertamiento; se trata de un procedimiento internacional basado en una colaboración con la NOAA, a través de mensajes automatizados que se publican en redes digitales (Twitter y Facebook) y correo electrónico en español.

La página del SCiESMEX muestra datos en tiempo real de sus redes de instrumentos. Los procedimientos de análisis de esta información y la emisión de un sistema de alertamiento para el Sistema Nacional de Protección

Civil han sido certificados conforme a normas internacionales. Para este fin, tanto el LANCE como el Servicio de Clima Espacial forman un vínculo para generar los alertamientos, cuya certificación ISO 9001:2015 garantiza que estas recomendaciones emitidas al Sistema Nacional de Protección Civil tienen las mejores prácticas internacionales con información técnica y científica confiable.

Américo González señala que este boletín se envía al Centro Nacional de Prevención de Desastres (Cenapred) cuando aparecen condiciones de riesgo y afectaciones de clima espacial en el territorio nacional.

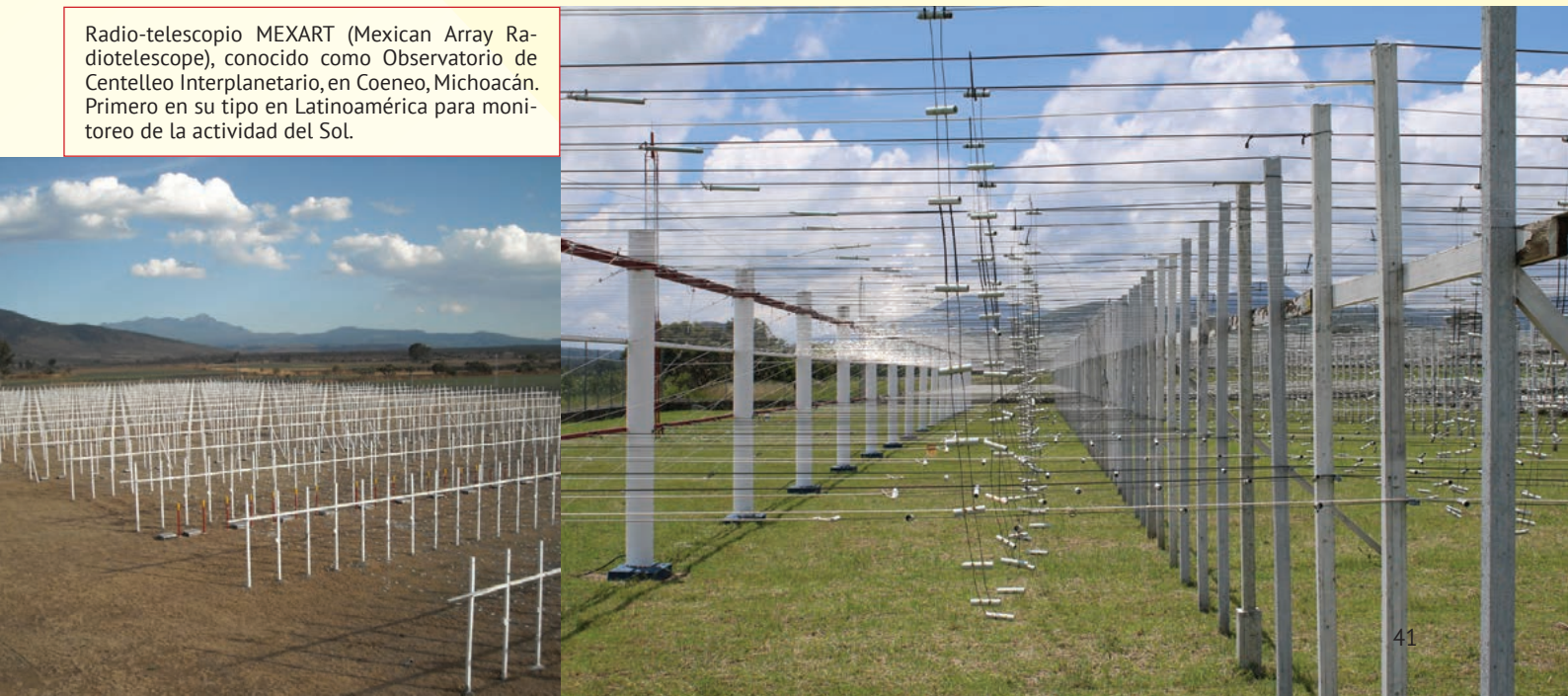
Las redes de instrumentos del LANCE están vinculadas al Repositorio Institucional de Clima Espacial (RICE). El objetivo del RICE es almacenar y recopilar los datos de las redes de instrumentos que está desarrollando el LANCE para estudiar al Sol y sus efectos sobre nuestro territorio.

En similitud al Servicio Sismológico Nacional, que emite reportes después de que ocurre un sismo, el SCiESMEX realiza reportes meteorológicos que alertan sobre el aumento de las condiciones de riesgo y da seguimiento a los eventos que ocurren.

Finalmente, el experto en clima espacial destaca que el Servicio proporciona información estratégica para la toma de decisiones, porque los datos obtenidos repercuten en temas de seguridad nacional. “Las condiciones en el Sol implican cierto riesgo; es importante estar monitoreando y tener una base de datos propia para conocer los efectos de las tormentas solares en nuestro país”. Para este fin, el SCiESMEX mantiene colaboraciones internacionales y un estrecho vínculo con autoridades de protección civil, con las que trabaja en el desarrollo de políticas públicas ●

Durante los sismos de 2017, el IGf, a través del SCiESMEX y el Cenapred, explicaron de manera oportuna que no hay relación entre el comportamiento del Sol y los terremotos. Consultar: <https://www.youtube.com/watch?v=0e1R541uBto> <https://youtu.be/ejcbkegEZv4>

Radio-telescopio MEXART (Mexican Array Radiotelescope), conocido como Observatorio de Centelleo Interplanetario, en Coeneo, Michoacán. Primero en su tipo en Latinoamérica para monitoreo de la actividad del Sol.



Geodesia satelital:

datos abiertos aplicados en la cotidianidad

El Servicio de Geodesia Satelital mantiene presencia en gran parte del país. Su trabajo genera información a partir de estaciones GPS que junto con otros países consolidan una red que se extiende desde Alaska hasta América del Sur

SANDRA VÁZQUEZ QUIROZ

CADA VEZ que utilizamos el teléfono celular para tomar una fotografía, o pedimos ayuda a una aplicación para viajar hacia algún punto nos convertimos en usuarios de la geodesia satelital. El doctor Enrique Cabral-Cano, responsable del Servicio de Geodesia Satelital (SGS) del Instituto de Geofísica (IGf) de la UNAM, explica que “todos somos usuarios de técnicas geodésicas, porque la mayoría de los datos que genera la comunidad son abiertos”.

Las fotos en el celular graban metadatos con la posición de manera transparente para el usuario; el mayor éxito de la geodesia es que no se necesitan conocimientos técnicos para utilizarla.

La geodesia estudia la forma y dimensiones de la Tierra incluyendo el relieve del fondo oceánico, su campo

de gravedad y sus variaciones temporales. Esta ciencia determina la posición de puntos sobre la superficie terrestre mediante sus coordenadas: latitud, longitud y altura que se materializan en puntos sobre el terreno y que constituyen un marco de referencia terrestre geodésico. Desde los griegos hasta nuestra época nos hemos apoyado en ella para determinar la forma de nuestro planeta.

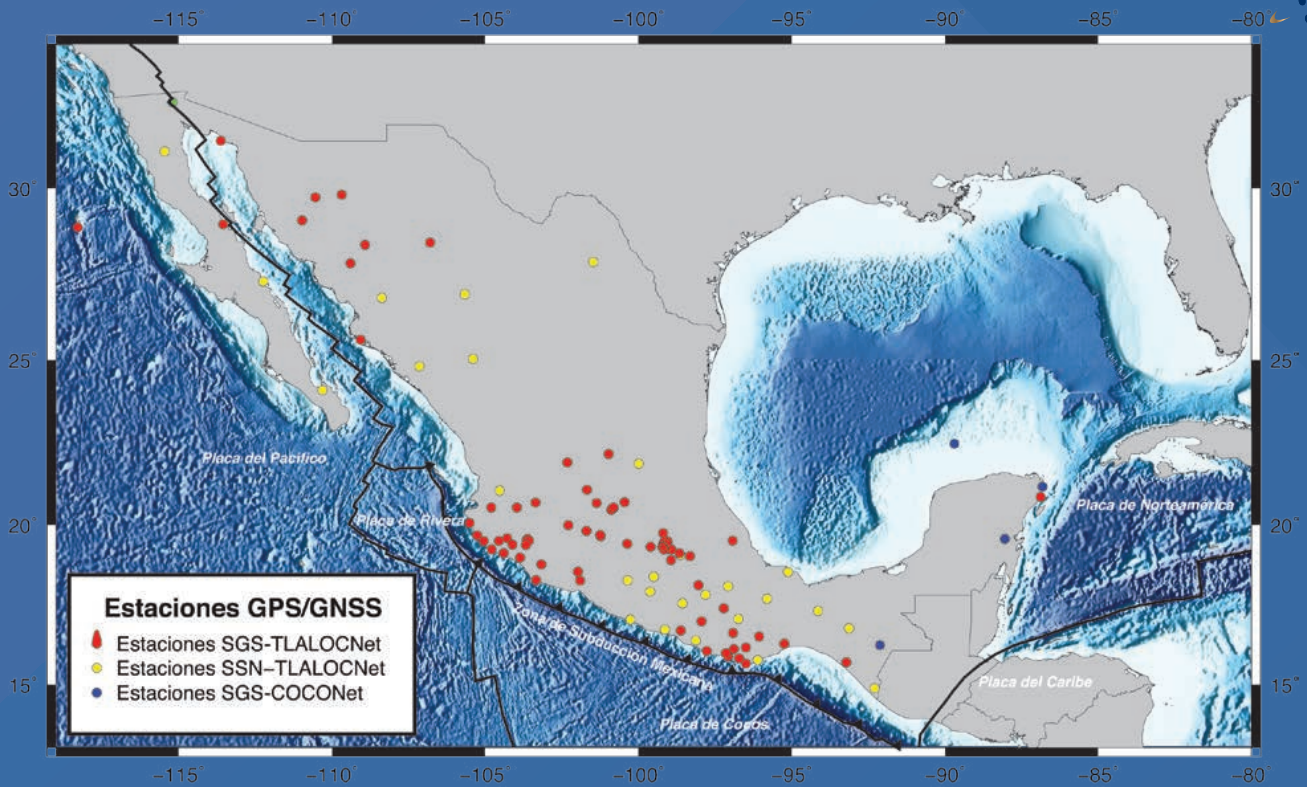
Los satélites y la geodesia

El uso de satélites se incorporó a la geodesia en la segunda mitad del siglo XX, lo que propició el desarrollo de la geodesia satelital como herramienta de investigación en el área de las ciencias de la Tierra.

En México, desde 2017 se puso en marcha el Servicio de Geodesia Satelital, a cargo del doctor Enrique Cabral, quien destaca que el SGS promueve el uso de sistemas globales de navegación satelital (GPS y GNSS) para investigaciones en sismicidad, vulcanología o subsidencia del terreno, entre otras. Se trata de un servicio que opera bajo un esquema observacional distribuido en todo el país.

El SGS cuenta con la red de estaciones GPS más extensa en México y ofrece de manera libre y abierta





• Mapa representativo de las más de 100 estaciones que operan diferentes sistemas globales de navegación satelital en México. Las estaciones conectan con redes desde Alaska hasta América del Sur.

datos GPS y meteorológicos a través de su repositorio TLALOCNet, la primera base con datos libres y abiertos para el estudio de ciencias de la Tierra.

Cabral-Cano aclara que el SGS no es el único operario de redes GPS en el país, aunque sí el más grande en la academia. La infraestructura observable del SGS la constituye la red GPS-Met TLALOCNet, diseñada para la investigación del ciclo sísmico, tectónica, subsidencia del terreno, clima, procesos atmosféricos y clima espacial.

Además de la tecnología GPS, la geodesia satelital echa mano de la interferometría radar de apertura sintética (InSAR), capaz de detectar movimientos en la superficie terrestre con precisión milimétrica en áreas muy grandes, destaca Enrique Cabral.

InSAR se utiliza para estudios del ciclo sísmico y modelación de zonas de ruptura durante terremotos mayores, estudio de la deformación de volcanes activos y para la subsidencia o hundimiento gradual de algunas ciudades en México, para analizar el transporte de humedad en la atmósfera o el clima espacial.

Usos y usuarios de la geodesia satelital

El SGS genera datos para quienes analizan, por ejemplo, procesos de subsidencia urbana o hundimiento de suelo en la Ciudad de México y otras localidades. Gracias a los instrumentos instalados en todo el país es posible que los usuarios de la información geodésica doten de valor agregado a los datos proporcionados por el Servicio. "Ellos se encargan de procesarlos, el SGS propor-

ciona la información básica de la red de instrumentos GPS/GNSS", destaca Enrique Cabral.

Quienes se dedican a la cartografía digital se basan en datos y técnicas de geodesia satelital, utilizando información generada por equipos GPS o InSAR. De este modo pueden elaborar mapas de peligro en áreas que presentan hundimiento en el terreno, como en la Ciudad de México; este es un ejemplo de valor agregado.

Entre los usuarios del SGS se encuentran el Servicio Sismológico Nacional, el Laboratorio Nacional de Clima Espacial y la Unidad de Vulcanología e investigadores del propio IGf.

El SGS colabora con el Centro de Ciencias de la Atmósfera, al interior del país trabaja con la Universidad de Guadalajara, donde se ubica el repositorio de información principal del SGS, mientras que en CU hay un espejo que respalda la información.

Recientemente, el SGS y el Centro Nacional de Prevención de Desastres pusieron en marcha estaciones GPS en el volcán Popocatepetl. De acuerdo con el doctor Enrique Cabral, el IGf, a través del SGS, participó en el diseño y desarrollo de la monumentación de las estaciones. "Las estaciones GPS con instrumentación meteorológica y cámaras del Popocatepetl son el resultado del diseño de estaciones que hicimos para mejorar la instrumentación y vigilancia del volcán".

El SGS también cuenta con una red GPS en el volcán de Colima y colabora con el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior en la red de moni-

toreo GPS del volcán Ceboruco, ubicado en el estado de Nayarit.

A escala continental, el SGS colabora con grupos de trabajo geodésicos en Centroamérica, Sudamérica, el Caribe y el resto de América del Norte. “Los operarios de redes de GPS somos una comunidad pequeña. En las zonas fronterizas se comparten límites de placas y el monitoreo de estas regiones a través de la red GPS trasciende fronteras”, añade Cabral-Cano.

Por otro lado, los instrumentos GPS que conforman la red TLALOCNet, cuentan con financiamiento de la National Science Foundation (NSF) de Estados Unidos, a través de UNAVCO, del CONACyT, del Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica de la UNAM y de la NASA; se trata de una red GPS-Met capaz de apoyar la investigación en ciencias de la Tierra en México. TLALOCNet vincula la infraestructura GPS existente en América del Norte, Centroamérica y el Caribe, para formar una agrupación continua y federada de redes que se extiende desde Alaska hasta América del Sur.

Un repositorio a perpetuidad

Así como en la actualidad es posible consultar datos oceanográficos de varios siglos atrás, el SGS tiene como objetivo que la información generada pueda consultarse por generaciones posteriores.

“Hemos conformado un repositorio que planeamos opere a perpetuidad y que nos trascienda. Si alguien en el próximo siglo quiere estudiar la deformación y estado de esfuerzos entre placas tectónicas, los procesos sísmicos o volcánicos en México, tendrá en sus manos información única; la información geodésica conforme más antigua resulta más valiosa debido a que las placas tienen escalas diferentes a la humana, además de que las observaciones de los movimientos de la corteza terrestre son únicas en tiempo y espacio y no pueden reproducirse”.

El SGS recaba información sobre la cual otras ciencias puedan construir. “Proveemos de la cimentación instrumental y distribución de datos observacionales geodésicos”.

Los sistemas geodésicos satelitales generan cada vez mayor información ya que la adquieren y transmiten de manera constante. Hace 20 años si se quería observar el hundimiento de la Ciudad de México o la deformación del volcán Popocatepetl, se podía conseguir una escena SAR y posteriormente la siguiente adquisición se obtenía varios meses después; ahora es posible tenerlas cada seis días. El análisis de esta información es gracias a los recursos de la supercomputadora Miztli y otros sistemas de cómputo de alto rendimiento de la UNAM.

El uso a futuro de las supercomputadoras plantea algunos retos en el mediano plazo, como la transmisión de datos, que puede tomar más tiempo que el procesamiento de estos. Actualmente hay gran capacidad tecnológica para generar datos, el reto se encuentra en aprovecharlos al máximo, y que tengan una incidencia en nuestra sociedad, como, por ejemplo, integrarlos a futuros sistemas de alertas tempranas, finaliza Enrique Cabral-Cano ●



- TLALOCNet es la red de estaciones GPS y GNSS del SGS con más de 110 estaciones en operación en México y que funciona bajo los mismos estándares del Observatorio de Límite de Placa EarthScope de Estados Unidos y de la Red de Observación GPS del Caribe de Operación Continua en Centroamérica y el Caribe. Actualmente se trabaja en la construcción de seis nuevas estaciones de GPS ubicadas en zonas con alto valor científico en México, como es el Istmo de Tehuantepec y regiones insulares.

- Las actividades del SGS contribuyen a la Agenda 2030 de la Naciones Unidas para el desarrollo sostenible, en particular a los objetivos de hambre cero, educación de calidad, igualdad de género, agua limpia y saneamiento, industria, innovación e infraestructura, ciudades y comunidades sostenibles, producción y consumo responsables, acción por el clima y vida de ecosistemas terrestres.

- La aplicación de la geodesia en diversos estudios de las ciencias de la Tierra en la UNAM se remonta al siglo pasado. Recordemos que en 1945 inicia labores el Instituto de Geología, semillero de instituciones y de sociedades científicas, incluido el Instituto de Geofísica, cuyas actividades arrancaron en 1949. La nueva entidad contaba con los departamentos de Sismología, Geodesia, Geomecánica, Vulcanología y Geofísica Aplicada. La fundación de ambos institutos respondió a los requerimientos de desarrollo industrial del país, que demandaba especialistas e investigadores dedicados al reconocimiento del territorio nacional, en una diversidad de aspectos. Así, la UNAM contribuía a resolver los grandes problemas del país.

Transversalidad:

solucionar problemas reales en beneficio de la sociedad

PATRICIA DE LA PEÑA SOBARZO

A 75 AÑOS de su fundación, el Instituto de Geofísica (IGf) de la UNAM se ha constituido como uno de los de mayor acercamiento e impacto en la sociedad mexicana. Los numerosos servicios que presta a través de sus siete unidades de investigación, seis sistemas nacionales, 36 laboratorios, cinco observatorios y sus dos espacios de divulgación (Museo de Geofísica y Geoparque Comarca Minera, en el estado de Hidalgo) son ejemplo impecable de cómo se puede dar solución a problemas reales, cuando la investigación y la ejecución de proyectos se desarrollan desde una perspectiva de transversalidad e interdisciplinariedad.

Al respecto, la doctora María Aurora Armienta Hernández, investigadora del Departamento de Recursos Naturales y responsable del Laboratorio de Química Analítica, asegura que “investigar y ejecutar proyectos

contrarrestar las ideas que surgen de quienes, sin ningún fundamento científico, se autocalifican como “expertos” y quienes lamentablemente logran incidir en el imaginario colectivo.

En este sentido, el maestro David Zamudio Ángeles, coordinador de proyectos en la Secretaría de Gestión y Vinculación, explica por qué es importante la labor que en materia de difusión del conocimiento sobre sismos realiza el Instituto: “Explicar a la sociedad cómo se generan los sismos, la frecuencia con que se dan; que en México tiembla entre 30 y 50 veces al día, entre otros, es información que llega a calmar un poco a la gente y le ayuda a distinguir la información con fundamentos académicos para discriminar las noticias falsas”.

Además de brindar conferencias y charlas directamente a la población, así como la divulgación, que va desde el aula con los estudiantes de las diversas carre-



desde una perspectiva de transversalidad e interdisciplinariedad es fundamental para dar solución a problemas reales. La ciencia puede aportar soluciones que no sean nada más ocurrencias o propuestas sin sustento. Mientras más se conozca una problemática con bases científicas, la solución será más adecuada y pertinente; en consecuencia, logrará beneficiar directamente a la sociedad.”

Y es que además de brindar solución a los diversos problemas que la sociedad enfrenta en materia de hundimientos, fallas, manejo y acceso a recursos hídricos, actividad volcánica y sismicidad, entre otros, los productos científicos que se elaboran en el Instituto de Geofísica también son imprescindibles para

ras relacionadas con ciencias de la Tierra, hasta eventos con la sociedad en general, el Instituto de Geofísica, a través del equipo encabezado por la doctora Ana María Soler Arechalde, investigadora en el Laboratorio de Paleomagnetismo y directora del Museo de Geofísica, se dio a la tarea de crear una *app* que actualmente responde —con un lenguaje sencillo y claro— las preguntas más recurrentes que la sociedad mexicana formuló a raíz de los sismos de 2017. Esta aplicación —que es gratuita y está diseñada para acceder a ella desde teléfonos celulares— contiene incluso un interactivo sobre cómo armar una mochila de emergencia. Adicionalmente, desde cualquier lugar del país, informa sobre la cercanía a un volcán activo y la distancia a la cual se encuentra respecto de nuestra posición. “La esencia es dar infor-

mación confiable y hoy es una realidad: nuestra *app* sí se consulta y definitivamente ha tenido impacto”, asegura orgullosa la doctora Soler, convencida de que todas las disciplinas aportan algo para estudiar un fenómeno, por lo que es muy importante comprender la trascendencia de la transdisciplinariedad como factor fundamental para el fortalecimiento de todo proyecto.

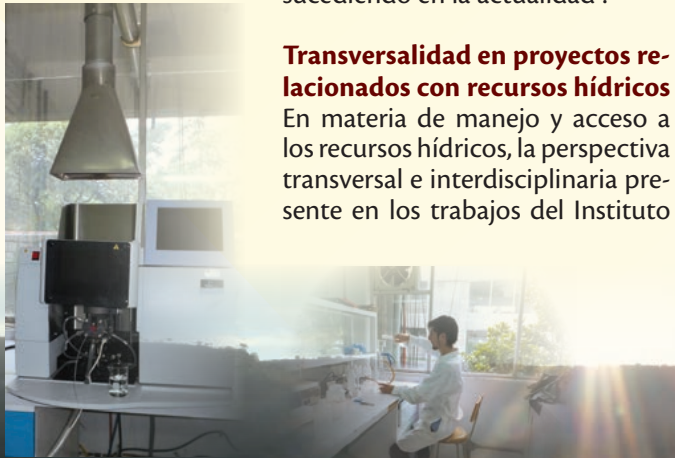
Por ejemplo, la información derivada de los estudios que realiza el área de la doctora Soler sobre la evolución de las antiguas civilizaciones es aplicada para comprender el desarrollo de las actuales. Así, los serios problemas que actualmente tenemos de contaminación en la Ciudad de México están relacionados con los usos y costumbres implementados en la antigua Teotihuacan. Ellos también enfrentaron problemas de falta de



abasto, cambiaron su entorno consumiendo una gran cantidad de árboles para hacer leña, terminaron con su medio ambiente y originaron un estrés extra en la naturaleza. “Esa civilización comenzó a experimentar el colapso y nosotros lo analizamos desde ese punto de vista, pues todo el conocimiento que se genera sirve para ver cómo ha evolucionado la sociedad y qué está sucediendo en la actualidad”.

Transversalidad en proyectos relacionados con recursos hídricos

En materia de manejo y acceso a los recursos hídricos, la perspectiva transversal e interdisciplinaria presente en los trabajos del Instituto



de Geofísica involucra desde estudios hidrogeológicos, geofísicos y de química analítica, hasta prospecciones a través de la modelación matemática.

Ejemplo de ello son los proyectos a cargo de la doctora Graciela Herrera Zamarrón, investigadora en el área de Modelación Matemática de Aguas Subterráneas del Departamento de Recursos Naturales. Este se enfoca en resolver la problemática aguda –tanto de cantidad



Investigadores del IGf brindan soluciones a diversos problemas de la sociedad en materia de hundimientos, fallas, manejo y acceso a recursos hídricos.

como de calidad del agua— en la alcaldía Iztapalapa de la Ciudad de México, donde la demanda de este recurso ha crecido al ritmo de su población. Para ello, han realizado varios estudios de caracterización del acuífero y de la calidad del agua subterránea y de gestión del uso del recurso subterráneo para lo cual es necesario efectuar predicciones. “La modelación matemática es el marco ideal para realizarlas. Aun cuando nuestro trabajo está centrado en el sistema natural, más recientemente estamos incorporando la gestión social en los proyectos, lo que requiere la participación de sociólogos, urbanistas, economistas, abogados, politólogos y, por supuesto, de la misma sociedad, para tratar el sistema hídrico-social de manera integral”, explica la doctora Herrera.

Otra tarea relevante en este aspecto es el trabajo encabezado por la doctora María Aurora Armienta Hernández para analizar, determinar e informar a instituciones gubernamentales de todos los niveles y a la población en general, sobre la presencia de conta-

Presas Zimapán: El Departamento de Recursos Naturales del IGf investiga las causas de contaminación por arsénico en poblaciones mineras, como la de Zimapán, en el estado de Hidalgo.



Los antecedentes del IGF se encuentran en el Instituto Geológico de México.

minantes en el agua, así como las diferentes alternativas para solucionar estos problemas en beneficio de la salud de las personas y de los ecosistemas.

Los problemas de contaminación —sobre todo del agua— son relevantes en nuestro país, y para proponer soluciones a los mismos hay que saber en dónde se origina esta contaminación, qué niveles tiene y cómo puede afectar a la población. “En el tema de aguas subterráneas no siempre lo obvio es lo que realmente está sucediendo. Podemos ver un residuo y suponer que es peligroso, que ese es el que está contaminando el agua. Pero como este recurso está en el subsuelo, hay muchos procesos que pueden ocurrir, incluso naturales”, explica la doctora Armienta, quien se ha dedicado a identificar, entre muchos otros asuntos, las causas de contaminación por arsénico en algunas poblaciones mineras, como la de Zimapán, o de cromo en el acuífero de León, Guanajuato. De esta manera, su labor se constituye en definir de dónde viene el contaminante y qué soluciones se pueden dar en el contexto geológico, geoquímico e hidrológico de la zona.

En un ejemplo de transversalidad, el equipo de la doctora Armienta cuenta en sus investigaciones con la participación constante y entusiasta de estudiantes de licenciatura, maestría, doctorado, de servicio social, del programa Jóvenes hacia la investigación, de la Academia Mexicana de Ciencias, y del Programa Delfín. Adicionalmente, publican y participan en investigaciones con otros colegas de Latinoamérica y de otras regiones.



Entre los instrumentos antiguos del Museo están los magnetómetros Askania y un sismógrafo Bosch Omori de 1904.

El Museo de Geofísica: un espacio para transmitir información

Cobijado por un edificio esplendoroso, característico de la arquitectura porfiriana de principios del siglo XX, el Museo de Geofísica brinda a sus visitantes información que va desde los antiguos instrumentos geofísicos modelos Carpentier, que fueron hechos en relojerías de París, hasta una explicación sobre la belleza de sus propias instalaciones en las que resaltan varios elementos tallados en cantera.

Aquí también se puede verificar la perspectiva de transversalidad e interdisciplinariedad en los trabajos de divulgación de la ciencia que se crean e implementan con enorme eficacia por el equipo a cargo de la doctora Ana Soler, logrando acercar la in-



El Museo de Geofísica es un recinto invaluable para la transmisión de información y educación para todos.

formación a la gente de una manera amigable que incluye juegos: “Nosotros jugamos con los niños a “hacer ondas sísmicas”, poniéndolos a brincar para que vean el registro en un sismógrafo. Cuando con modelos simples y de una manera experimental, práctica, acercamos la ciencia a la gente, y en especial a los chicos, ellos logran comprender la maravilla que son las matemáticas, la física, la química, la biología...”, abunda la doctora Soler con entusiasmo.

Así como este espacio se ha convertido en un recinto invaluable para la transmisión de información, todas y cada una de las áreas que alberga el Instituto de Geofísica constituyen un universo donde, bajo la perspectiva de transversalidad, sus prestigiados científicos suman el esfuerzo de jóvenes estudiantes e instituciones públicas y privadas para contribuir a la seguridad y bienestar de nuestra sociedad ●

