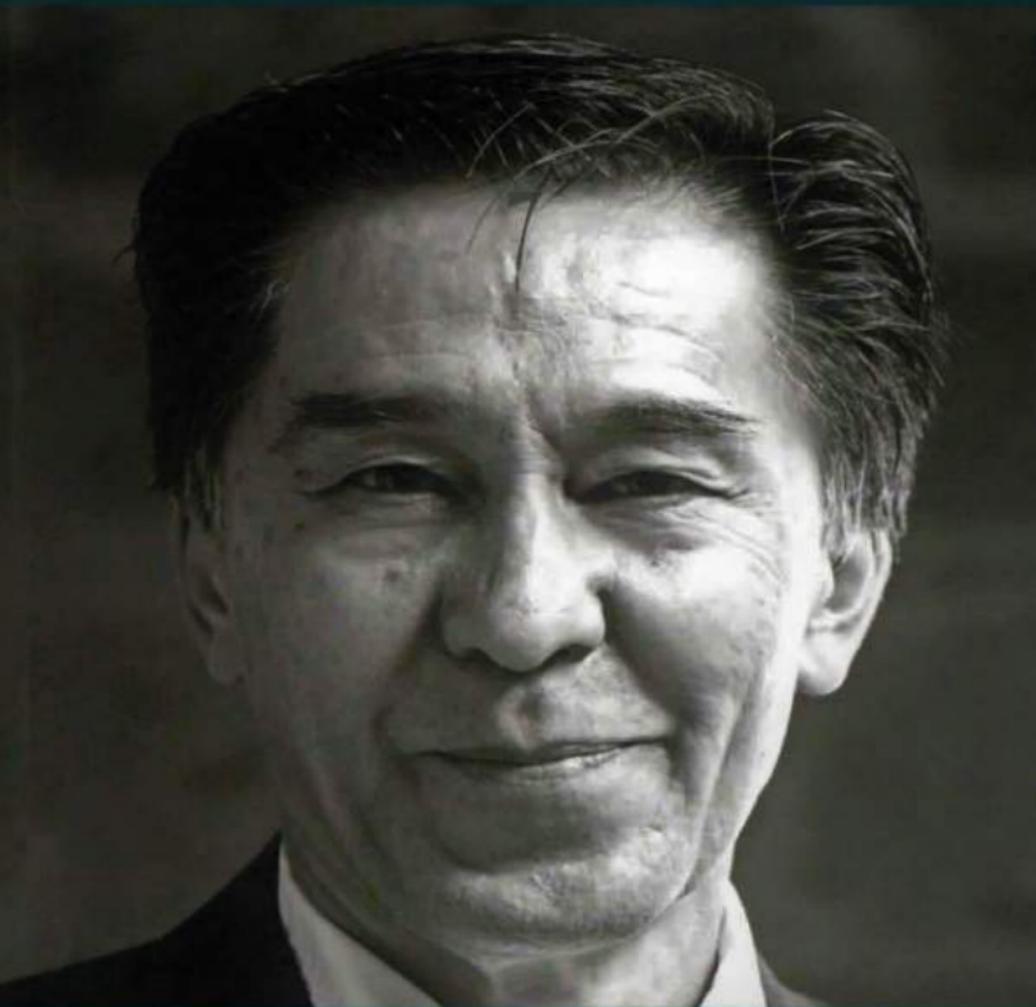


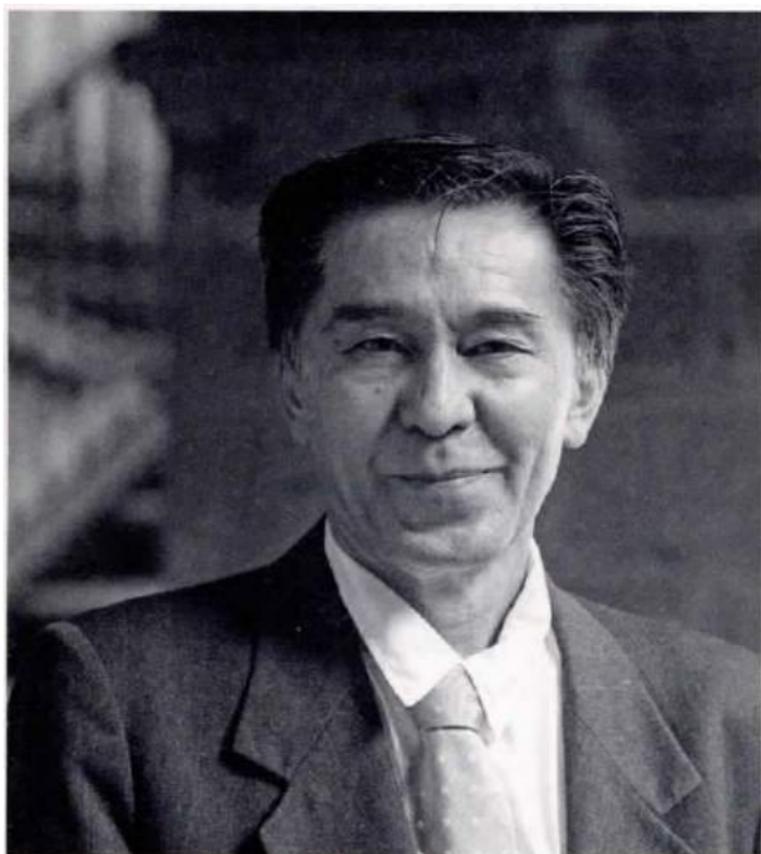
JAIME URRUTIA FUCUGAUCHI
CHICXULUB,
CRÁTERES DE IMPACTO
Y LA EVOLUCIÓN DEL SISTEMA SOLAR
DISCURSO DE INGRESO

LUIS FELIPE RODRÍGUEZ
RESPUESTA



EL COLEGIO NACIONAL

CHICXULUB, CRÁTERES DE IMPACTO
Y LA EVOLUCIÓN DEL SISTEMA SOLAR



JAIME URRUTIA FUCUGAUCHI

Jaime Urrutia Fucugauchi

CHICXULUB, CRÁTERES
DE IMPACTO Y LA EVOLUCIÓN
DEL SISTEMA SOLAR

(5 de febrero de 2014)

SATULACIÓN

Octavio Novaro

CONTESTACIÓN

Luis Felipe Rodríguez

RECUERDO DE TRABAJO

Julián Ádem



EL COLEGIO NACIONAL

México, 2014

Primera edición: 2014

D. R. © 2014. EL COLEGIO NACIONAL

Luis González Obregón núm. 23, Centro Histórico

C. P. 06020, México, D. F.

Teléfonos 57 89 43 30 • 57 02 18 78 Fax 57 02 17 79

Impreso y hecho en México

Printed and made in Mexico

Correo electrónico: colnal@mail.internet.com.mx

Página: <http://www.colegionacional.org.mx>.

PALABRAS DE SALUTACIÓN
Y BIENVENIDA

Octavio Novaro Peñalosa

Esta es una de las ceremonias más significativas que se pueden hacer en El Colegio Nacional, la renovación de generaciones.

Tenemos la tristeza en El Colegio de la pérdida de gentes del calibre de Donato Alarcón, de José Emilio Pacheco. Tres de mis maestros, que estaban en El Colegio Nacional, han desaparecido en tiempos relativamente recientes. Pero esta es una ceremonia alegre, una ceremonia positiva, porque demuestra que El Colegio Nacional siempre continuará.

Tener científicos jóvenes, brillantes, como es el caso de Jaime Urrutia Fucugauchi, o artistas, o filósofos de las nuevas generaciones, del área de medicina y biología, es siempre una renovación. Y la ce-

remonia de hoy tiene que ser un acto de mucha alegría para El Colegio Nacional.

Recibimos en El Colegio sangre nueva, a un gran investigador, a un gran amigo, Jaime Urrutia Fucugauchi, que va a ganarse su entrada a El Colegio Nacional dándonos una plática sobre los trabajos que él ha hecho a lo largo de su carrera, y el futuro que él ve para la ciencia. Le pediría entonces a Jaime que pasara al pódium y desde allí nos hiciera su exposición.

CHICXULUB, CRÁTERES DE IMPACTO
Y LA EVOLUCIÓN DEL SISTEMA SOLAR

Jaime Urrutia Fucugauchi

SEÑOR PRESIDENTE EN TURNO DOCTOR OCTAVIO
NOVARO PEÑALOSA
DISTINGUIDOS MIEMBROS DEL PRESIDUM,
MIEMBROS DE EL COLEGIO NACIONAL
DISTINGUIDOS ACADÉMICOS
QUERIDOS COLEGAS Y AMIGOS
SEÑORAS Y SEÑORES

Muy buenas noches.

Les agradezco y aprecio su asistencia a esta ceremonia de ingreso a El Colegio Nacional.

Agradezco especialmente a los miembros de El Colegio Nacional la invitación para formar parte de esta distinguida institución. Les agradezco especialmente a los miembros por considerar que podría ser parte de El Colegio y por su confianza y

apoyo. El Colegio Nacional es una de las instituciones de mayor prestigio, tradición y amplia actividad en la cultura, artes y ciencias en el país, con gran reconocimiento nacional e internacional.

El ingreso es un reconocimiento a la geofísica y las disciplinas de ciencias de la Tierra. México tiene una larga y rica tradición en geociencias, que se remonta a las culturas precolombinas. En las épocas colonial y reciente, la exploración y explotación de recursos minerales y energéticos han permanecido como parte de las actividades importantes para la economía y desarrollo del país. Los trabajos que realizamos en el laboratorio se enfocan a la evolución de la Tierra como un sistema, con la geosfera, atmósfera, hidrosfera, criósfera y biosfera. Cómo se relacionan e interactúan los procesos internos y superficiales y cómo han evolucionado, con la formación de océanos y continentes y los movimientos de placas. ¿Cuál es la influencia de eventos extremos, como impactos

de asteroides y cometas? ¿Cuáles son las relaciones con procesos externos, el campo magnético terrestre, el viento solar, y la evolución del sistema solar? Estos estudios requieren de usar diferentes plataformas de observación geofísica y de perforaciones, con barcos, aviones y satélites.

Para la presentación comentaré sobre los impactos y la evolución de la Tierra y del sistema solar. Los impactos y formación de cráteres constituyen el proceso más importante que controla la evolución de las superficies planetarias de la mayoría de los cuerpos en el sistema solar, con unas pocas excepciones, incluyendo la Tierra. Las colisiones, fragmentación y agregación de cuerpos de diferentes tamaños ocurrieron en las etapas tempranas de evolución y continuaron siendo parte mayor de los procesos en el sistema solar. El sistema Tierra-Luna es posiblemente producto de una colisión con un cuerpo del tamaño de Marte, que permite que el satélite de la Tierra sea comparativamente

más grande que en otros planetas en el sistema. Los impactos controlaron la formación de las primeras cortezas terrestres y la evolución temprana del planeta y de la vida. En México tenemos dos de los meteoritos más intensamente estudiados. Uno es el meteorito Allende, que cayó en febrero de 1969 en Chihuahua. Allende es parte de las condritas carbonáceas, que son relativamente raras y en la caída se recuperaron más de dos toneladas. Fragmentos del Allende fueron rápidamente estudiados y en poco tiempo se convirtió en referencia de la composición de la nebulosa solar, aportó evidencias sobre nuevos minerales, la explosión de una supernova en la formación del Sol y nuevos datos sobre la formación de planetesimales y el sistema planetario. Allende continúa siendo intensamente investigado, contribuir algo nuevo y relevante es todo un reto. En los siguientes minutos me concentraré en qué hace interesante el estudio del impacto Chicxulub.

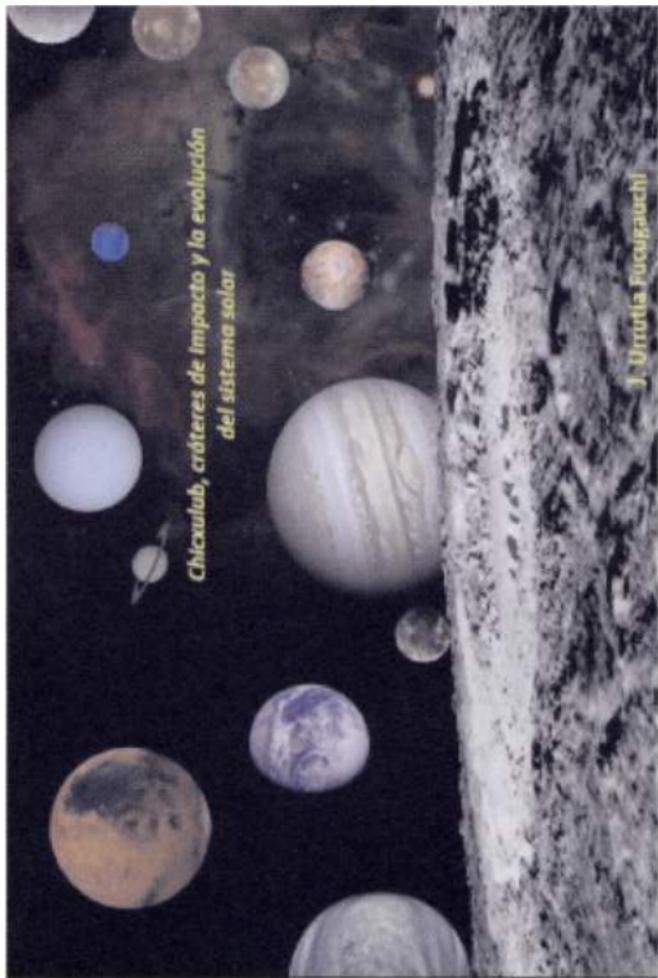


Imagen compuesta del cráter Schrodinger en la Luna (cortesía de NASA y Jet Propulsion Laboratory).

El impacto Chicxulub es el de mayores dimensiones documentado en el Fanerozoico, a partir de la evolución de los organismos multicelulares hace unos 600 Ma. Los efectos del impacto afectaron los sistemas de soporte de vida en el planeta y produjeron efectos en el sistema climático y ambiente a nivel global. Los efectos produjeron la extinción de numerosos organismos, con la desaparición de alrededor del 75% de las especies, marcando el final de la era Mesozoica. Éste es uno de los mayores eventos de la evolución de la vida en el planeta, que permitió la diversificación de los mamíferos y eventualmente de los primates y los humanos. El impacto formó un cráter complejo multi-anillo de unos 200 km de diámetro, siendo uno de los tres cráteres más grandes en la Tierra.

Los cráteres de impacto caracterizan las superficies de los cuerpos sólidos en el sistema, son muy numerosos y tienen un amplio rango de tamaño, morfologías y distribución. En este sector de la Luna po-



Representación artística del impacto Chicxulub.

demós observar cráteres con fondo plano, picos centrales, cráteres simples y superposición de cráteres, que permiten establecer la secuencia de colisiones. La superficie lunar presenta cráteres complejos de gran tamaño, con diámetros de hasta miles de kilómetros. El estudio de los cráteres, morfologías y distribución permite investigar también las características del interior, espesores de corteza y procesos tectónicos.

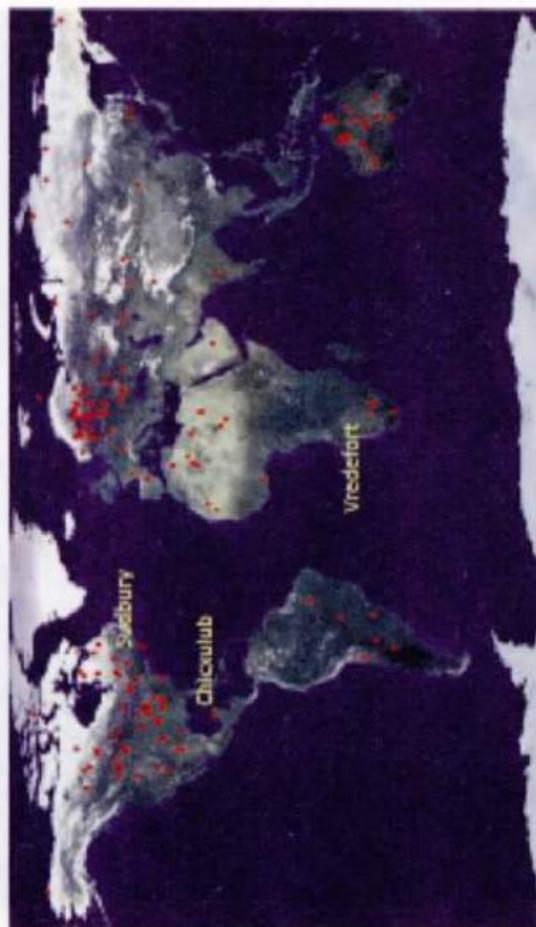
Las imágenes de la topografía de Marte de las misiones planetarias recientes han documentado numerosos cráteres de impacto. Las representaciones tridimensionales de la topografía nos muestra la distribución de cráteres con mayor abundancia en el hemisferio sur, incluyendo los cráteres grandes.

En la Tierra, el número de cráteres documentado es reducido, con alrededor de 180 cráteres. Ello es debido a los procesos que modifican la superficie, con la erosión y actividad volcánica y tectónica. Los cráteres terrestres han sido estudiados, a



Imagen de la superficie de la Luna (Tomada de archivo NASA).

~180 cráteres de impacto en la Tierra



Tres cráteres complejos multi-anillo

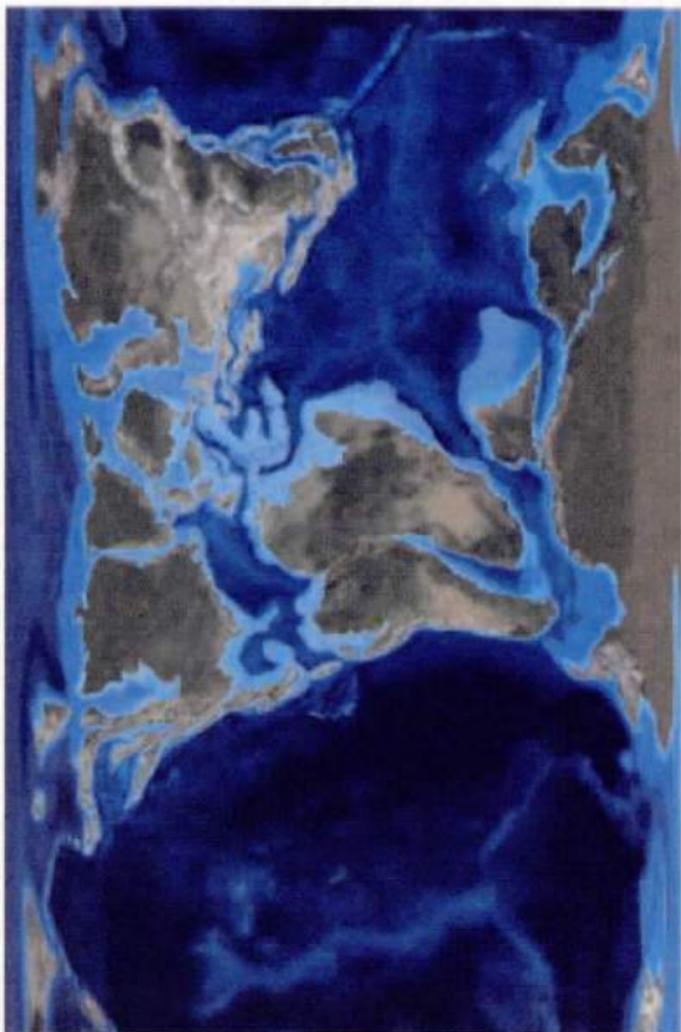
Cráteres de impacto en el registro terrestre.

partir de identificar algunas de las estructuras en la década de los sesenta.

La propuesta en 1980 de la teoría del impacto para explicar las extinciones masivas de finales del Mesozoico y las misiones planetarias han ampliado el interés en estudiar los impactos y los cráteres.

De los cráteres terrestres, sólo se han documentado tres complejos multianillos, que son comunes en el sistema solar. Sudbury en Canadá y Vredefort en África del Sur se formaron hace unos 2000 Ma y están significativamente erosionados y modificados. Chicxulub se formó hace 66 Ma en la plataforma de Yucatán y está cubierto por rocas más jóvenes, que le han preservado, con lo que es el único laboratorio para estudiar estas estructuras y procesos.

El impacto, como comentábamos, afectó los sistemas de soporte de vida, provocando la desaparición del 75% de las especies, incluyendo grupos como los dinosaurios. El clima en la época era más cálido, con bajo gradiente latitudinal y sin



Reconstrucción paleogeográfica para fines del Cretácico.

casquetes polares. Éste es uno de los aspectos interesantes en esta era y una de las primeras simulaciones numéricas del clima del Cretácico se realizó con el modelo termodinámico de Adem. El registro de la extinción está marcado en el registro geológico por una delgada capa de unos cuantos centímetros de espesor depositada en los sedimentos marinos y continentales. La capa, formada por una capa basal de esferitas milimétricas y por una capa de arcilla, marca la transición entre las eras. En las rocas debajo de la capa están restos de organismos de la era de los dinosaurios, arriba están fósiles de la era de los mamíferos.

La capa tiene una amplia distribución, está formada por la sedimentación del polvo y material fragmentado en el impacto y es la única capa marcadora global. La única otra con esta distribución es la generada por elementos radioactivos como plutonio, producidos en las detonaciones de bombas nucleares en superficie. La

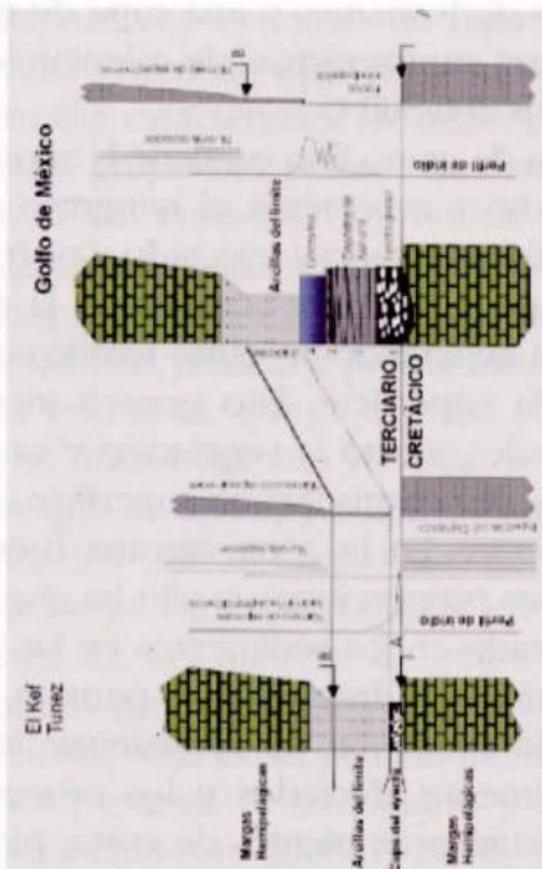
capa marca un evento súbito en escalas de segundos a horas y meses, con efectos a largo plazo. La capa de esferulitas representa material eyectado en tiros parabólicos del punto de impacto y presenta una anomalía característica de iridio y elementos del grupo del platino que son la evidencia del impacto. Una buena parte del material excavado y fragmentado es eyectado a velocidades mayores a la de escape, saliendo del planeta y produciendo meteoritos terrestres, como ha sido propuesto por el doctor Arcadio Poveda. Los meteoritos que él denomina chicxubalitas están formados por las rocas de Yucatán. La capa de arcilla es depositada en periodos de meses, del material de grano fino distribuido globalmente y que bloqueó la radiación solar en el planeta interrumpiendo los procesos de fotosíntesis y causando un enfriamiento global. En la zona del golfo de México y Caribe la capa tiene espesores mayores de varios metros y una estructura más compleja, con una capa

basal con esferulitas y una superior de arcilla. Intermedio se encuentran depósitos de arenas de alta energía, que representan depósitos de tsunamis, y una capa de grano fino con características de calentamiento de unos 200-300 C.

La capa de grano fino contiene la anomalía de iridio y representa el reingreso del material fragmentado y eyectado. Los fragmentos, en su re-ingreso calientan la alta atmósfera generando un pulso térmico que alcanza la superficie. Ello generó incendios globales, afectó la vegetación y causó la muerte de organismos en superficie.

Los efectos en la zona cercana fueron de grandes proporciones, y ello ha quedado registrado en los sedimentos en las zonas próximas y distales, que permite investigar la evolución de ecosistemas total o parcialmente afectados y los procesos en los distintos ambientes de costa, plataformas y mar profundo, así como en el interior de los continentes. Este es un registro sedimentario marino de la costa atlán-

El registro del impacto – La capa global K/T



Representación esquemática de las secciones estratigráficas para la frontera Cretácico/Paleógeno con la capa del impacto (modificada de Smit, 1999). Observe la diferencia entre las secciones distales y las secciones próximas en el golfo de México.

tica, con los sedimentos cretácicos en la base y los del Paleógeno en el tope, caracterizados por distintos grupos faunísticos. Intermedio está una capa conocida como de los océanos vacíos, caracterizada por la ausencia de restos de organismos y que había sido estudiada anteriormente sin encontrar causas aparentes. La capa está arriba de las capas de material fragmentado, la eyecta de impacto y la bola de fuego. Estudiar el tiempo representado por los océanos vacíos permite cuantificar el tiempo tomado para recobrase la vida en los océanos.

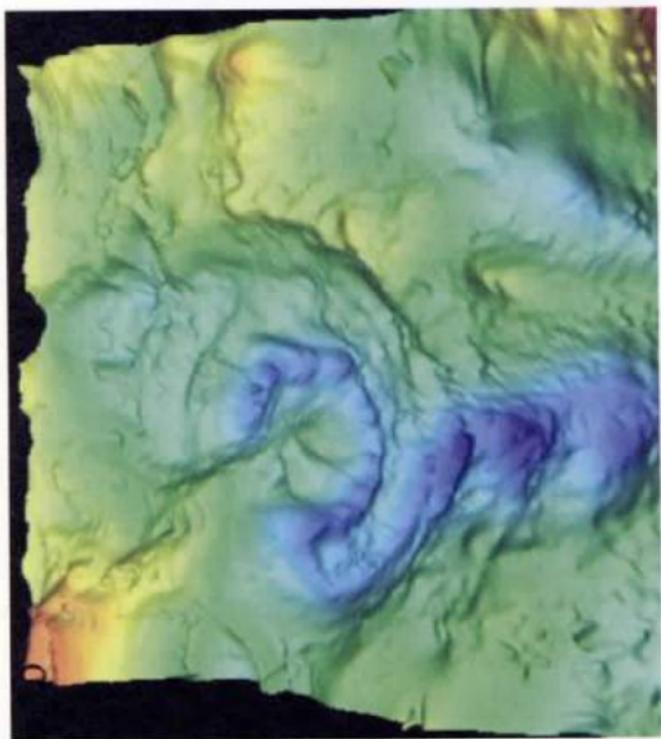
Una buena parte de los estudios iniciales se enfocaron a los organismos extintos y mecanismos. En los últimos años, se tiene un interés creciente en los organismos que sobrevivieron, aquellos que se extinguen tiempos cortos después del impacto y en los mecanismos de diversificación, con un conjunto nuevo de interrogantes y posibilidades. Los mamíferos coexistieron con los dinosaurios buena parte del tiem-



Localización del cráter Chicxulub en la plataforma carbonatada de Yucatán, golfo de México.

po, ocupando nichos ecológicos marginales y tamaños pequeños. En unos 10 Ma, especies de mamíferos desarrollaron tamaños mayores, alcanzando masas corporales de varias toneladas, estos estudios han abierto nuevas interrogantes, cuántas generaciones y tiempo toman a una especie pasar de tamaño de ratones a elefantes o al revés.

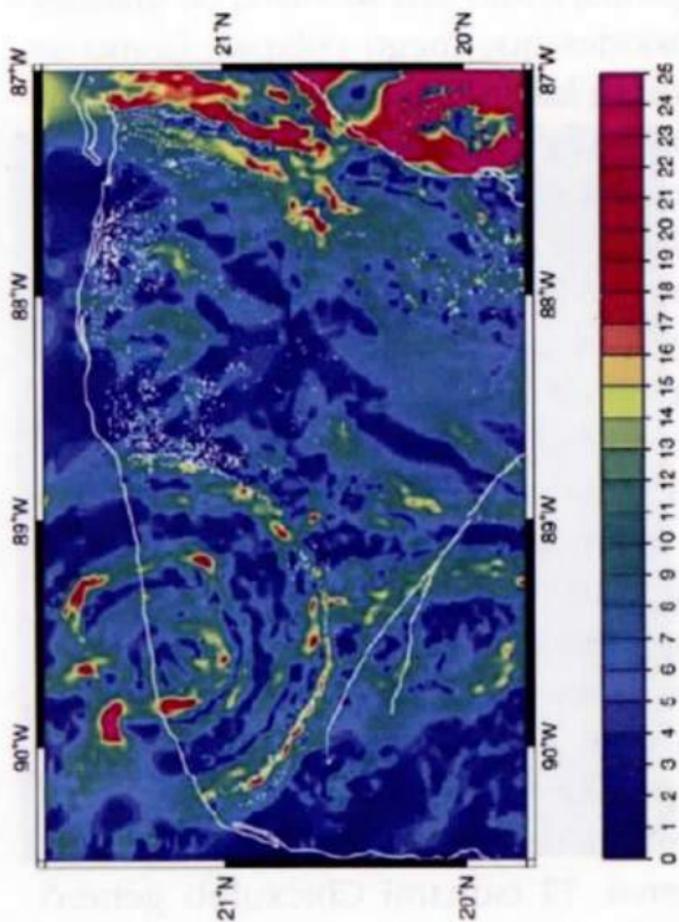
En contraste con otros procesos geológicos como el movimiento de placas, formación de océanos o cadenas montañosas, los impactos involucran tiempos cortos y alta liberación de energía. Las simulaciones numéricas de impactos. En 2 seg a partir del contacto con la atmósfera, la excavación es de 10 km; en 5 seg el agujero es de toda la corteza, más de 25 km y el material excavado está siendo eyectado, parte fuera de la gravedad terrestre. Para los 30 seg la excavación ha generado una nube de eyecta con cortinas laterales y deformación de la zona de impacto y se inicia los procesos de rebote litostático con



Anomalía gravimétrica del cráter Chicxulub, mostrando su estructura de multianillo
(tomada de Sharpton *et al.*, *Science*, 1993).

la formación de un levantamiento central que alcanza varios km arriba de la superficie, produciendo una montaña de grandes dimensiones que luego colapsa. Cómo se comportan las rocas en este tipo de deformación, con comportamientos fluidos y frágiles, ha generado nuevos campos de estudio.

Cómo se interrelacionan eventos extremos súbitos en los procesos tectónicos de formación de océanos y continentes y qué registro dejan en las rocas, son también parte de las nuevas interrogantes. El impacto ocurre en el protogolfo de México en una plataforma sumergida, que permite la generación de tsunamis de grandes proporciones. Los tsunamis en el océano Índico y en Japón generaron grandes daños y pérdidas de vidas, con olas de unos 10-15 m y afectando costa adentro cientos de metros. El tsunami Chicxulub generó olas de 150-300 m y penetró costa adentro cientos de km.



Gradiente horizontal de la anomalía gravimétrica, mostrando la distribución de los anillos y la correlación con el anillo de cenotes.

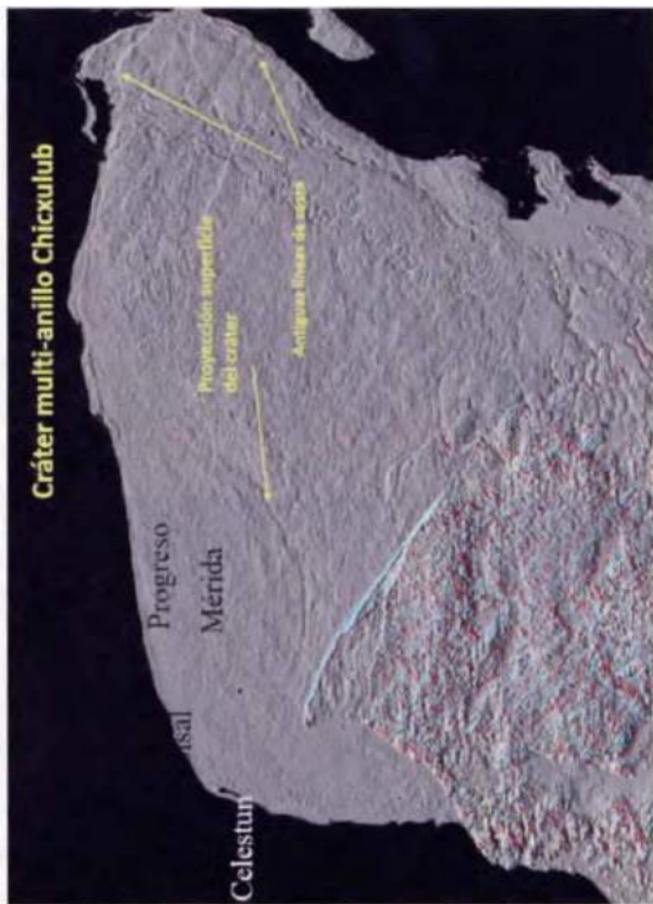


Imagen satelital de interferometría de radar de la península de Yucatán (cortesía de NASA Jet Propulsion Laboratory), mostrando la proyección en superficie del borde del anillo del cráter.

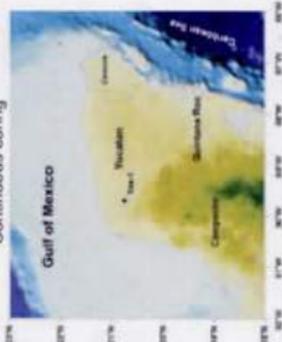
PEMEX Drilling Program
Intermittent core recovery



UNAM Drilling Program
Continuous coring



ICDP-UNAM CSDP
Continuous coring



CFE-UNAM Drilling Program
Continuous coring



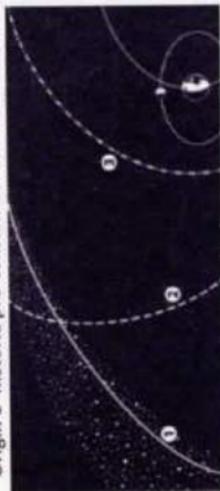
Programas de perforación y localización de pozos perforados en Chicxulub y la península de Yucatán.

La deformación en la zona provocó el colapso del borde de la plataforma, produciendo brechas de carbonatos, las cuales contienen acumulaciones de hidrocarburos. Los campos petroleros mayores en la sonda de Campeche están en las brechas de impacto.

El cráter no está expuesto en superficie, cubierto por unos 800-1000 m de carbonatos. Su estudio requiere de métodos geofísicos y de perforaciones. Esta es la firma gravimétrica del cráter, con su estructura de multianillos. Esta es una imagen de interferometría de radar de la península, donde se observan estos rasgos semi-circulares, marcados por una ligera depresión y el anillo de cenotes. Este representa la proyección en superficie del borde del cráter, formado por compactación diferencial de las brechas de fragmentos en el centro, comparada con las rocas más compactas alrededor.

El tamaño del cráter se aprecia en la imagen, en la mayor parte del estado de

Origen e historia pre-collisión del asteroide Chicxulub



Baptistina ~170 Km Carbonaceous Chondrite Asteroid



Bortko, W., Vokrouhlický, D., Hecoverny, D., 2017, An asteroid breakup 160 Myr before the K/T impactor. Nature, 445, doi:10.1038



Representación esquemática de la propuesta para el origen y relaciones del asteroide Chicxulub con el asteroide Baptistina y el cráter Tícho en la Luna (adaptado de Bortko *et al.*, 2007).

Yucatán dentro de la mitad del cráter, que tiene su centro geométrico en Chicxulub Puerto en la línea de costa. Los estudios permiten analizar los acuíferos subterráneos y la evolución de la península con los cambios del nivel del mar.

Los estudios se relacionan con las superficies planetarias, de forma que no se había considerado. En las imágenes de la Luna podemos observar además de los cráteres con expresión topográfica estos rasgos circulares, representan cráteres sepultados. Estos estudios han modificado significativamente los estudios geológicos en los cuerpos del sistema solar, basados en el número y densidad de cráteres. Los cambios son grandes, las imágenes muestran en curvas discontinuas los cráteres sin expresión topográfica superficial en el planeta Marte.

Otra de las interrogantes planteadas es la naturaleza y de dónde provino el asteroide que formó Chicxulub. Ello tiene implicaciones fuertes en otros campos. Cuál

es la frecuencia de impactos de estos tamaños, cuándo esperar un siguiente Chicxulub. Si era parte de los asteroides que cruzan las órbitas de los planetas interiores o del cinturón de asteroides. Ello es recientemente tema de investigación. Esta es una imagen de la Luna, podemos observar estos cráteres con rayos. Son cráteres recientes, cuyo material de impacto aún no se borra. Este es el cráter Ticho, nombrado en honor de un astrónomo que realizó observaciones que permitieron desarrollar el modelo de Kepler del movimiento de los planetas alrededor del Sol. Una propuesta reciente es que Ticho y Chicxulub están relacionados, formados por impactos de fragmentos de grupo Baptistina. Hace unos 160 Ma una colisión en el cinturón de asteroides fragmentó Baptistina. Un fragmento impactó a la Luna hace ~109 Ma formando Ticho, y otro impactó la Tierra, formando Chicxulub. La propuesta es interesante, ya que relaciona los procesos en el cinturón de asteroides

con los cráteres y aun cuando estudios posteriores han mostrado que las firmas geoquímicas entre Baptistina y Chicxulub no corresponden, ello ha abierto una nueva línea de investigación de interesantes posibilidades, encaminadas a entender la evolución de la Tierra dentro del contexto planetario, en el sistema solar.

En los pasados 30 años, los estudios han avanzado y al mismo tiempo abriendo nuevas líneas de estudio. Algunas de las preguntas sobre los mecanismos que modificaron los sistemas de soporte de vida en el planeta, aún permanecen sin respuesta, ello ha contribuido también a mantener el interés en Chicxulub.

Las interrogantes generadas en los estudios han abierto nuevas líneas de investigación y conexiones con otros especialistas más allá de las geociencias, produciendo un campo múltiple e interdisciplinario.



Presentación de la conferencia (fotografía Jesús Villaseca. AMC).



Integrantes del presidium en la Ceremonia de Ingreso. Doctor Julián Ádem, doctor Octavio Novaro y doctor Luis Felipe Rodríguez (fotografía Jesús Villaseca, AMC).

Hace unos años, un colega definía la vida en la academia en términos de aprender a hacer, saber hacer, hacer y hacer saber. Estos pasos de aprendiz a maestro en general no van en secuencia y el aprender a hacer es más un estado permanente, con más cosas por aprender y muchas pendientes por hacer. En este largo camino de aprender a hacer, hacer y hacer saber, algunos tienen la capacidad de crear saber, construyendo la ciencia. A lo largo de siete décadas, los miembros del Colegio son ejemplo de estas capacidades y compromiso con la ciencia, la cultura y las artes. Agradezco el honor de formar parte de El Colegio Nacional y reitero mi compromiso por contribuir y participar en sus programas y actividades.

Agradezco la confianza y el apoyo de los miembros de El Colegio Nacional y numerosos colegas y amigos, muchos de ellos aquí presentes. Muchas gracias a los estudiantes y colaboradores, por sus contribuciones en los estudios. El amor y apo-

yo de la familia, han sido fundamentales, he sido muy afortunado al formar parte de esta familia. Este legado de generaciones es motivo de orgullo y de impulso a continuar. A mis hijos, mi esposa, participantes de aventuras, estudios y proyectos compartidos.

Muchas gracias a todos ustedes por su apoyo y por compartir esta noche en esta sede de El Colegio Nacional.

REFERENCIAS

- Alvarez, L. W., W. Alvarez, F. Asaro, H. V. Michel (1980), Extraterrestrial cause for the Cretaceous-Tertiary extinction, *Science*, 208 (4448), 1095-1108.
- Alvarez, W. (1997), *T Rex and the Crater of Doom*, Princeton Univ. Press, Princeton, N. J. 236 pp.
- Poveda, A., Espejo, F. (2004) El cráter de Chicxulub y la extinción de los dinosaurios. Publicación Gobierno del Estado, Mérida, Yucatán.
- Schulte, P., *et al.* (2010), The Chicxulub asteroid impact and mass extinction at the Cretaceous-Paleogene boundary, *Science*, 327 (5970), 1214-1218.

- Sharpton, V. L., *et al.* (1993), Chicxulub multiring impact basin: Size and other characteristics derived from gravity analysis, *Science*, 261 (5128), 1564-1567.
- Urrutia Fucugauchi, J., Pérez Cruz, L., 2009. Multi-ring-forming large bolide impacts and evolution of planetary surfaces. *International Geology Review*, 51, 1079-1102.
- Urrutia Fucugauchi, J., L. Marín, A. Trejo García (1996), UNAM scientific drilling program of Chicxulub impact structure: Evidence for a 300 kilometer crater diameter, *Geophys. Res. Lett.*, 23 (13), 1565-1568.
- Urrutia Fucugauchi, J., J. M. Chávez, L. Pérez Cruz, J. L. de la Rosa (2008), Impact ejecta and carbonate sequence in the eastern sector of Chicxulub crater, *C. R. Geosciences*, 340 (12), 801-810.
- Urrutia Fucugauchi, J., Camargo Zanoquera, A., Pérez Cruz, L. (2011), Discovery and focused study of the Chicxulub impact crater, *EOS Trans. Am. Geophys. Union*, 92, 209-216.
- Urrutia Fucugauchi, J., A. Camargo Zanoquera, L. Pérez Cruz, G. Pérez-Cruz (2011), The Chicxulub multi-ring impact crater, Yucatan carbonate platform, Gulf of Mexico, *Geofis. Int.*, 50 (1), 99-127.
- Urrutia Fucugauchi, J., Pérez Cruz, L., Camargo-Zanoquera, A., 2013. Oil exploration in the Southern Gulf of Mexico and the Chicxulub impact. *Geology Today* 29 (5), pp. 182-189.

CONTESTACIÓN AL DISCURSO
DE INGRESO DE
JAIME URRUTIA FUCUGAUCHI
A EL COLEGIO NACIONAL

Luis Felipe Rodríguez Jorge

DOCTOR OCTAVIO NOVARO PEÑALOSA,
PRESIDENTE EN TURNO DE
EL COLEGIO NACIONAL,
DOCTOR JULIÁN ÁDEM CHAHÍN,
COMPAÑERO DEL COLEGIO NACIONAL,
COLEGAS QUE NOS ACOMPAÑAN
DEL COLEGIO NACIONAL
Y DEL ÁMBITO ACADÉMICO,
DAMAS Y CABALLEROS:

Es para mí un honor a la vez que un placer contestar el discurso de ingreso a El Colegio Nacional del doctor Jaime Urrutia Fucugauchi, el cual acabamos de escuchar. Con su presencia, El Colegio Nacional mantiene la tradición de incorporar a sus filas a los científicos, humanistas y artistas más destacados de nuestro país.

A través de los años, El Colegio Nacional ha contado con pocos pero muy distinguidos estudiosos de la Tierra, en las especialidades de geología y geofísica. Entre los 15 miembros fundadores de El Colegio Nacional en el año de 1943, estaba el ingeniero y geólogo Ezequiel Ordóñez Aguilar, a quien se le considera el creador de la geología petrolera mexicana. En los años siguientes se completó el número de miembros iniciales de El Colegio Nacional a 20, como indicaba el decreto presidencial de su creación.

En 1971 el número de miembros de El Colegio Nacional se amplió a 40. Si bien su especialidad es la química, también podemos decir que el doctor Mario Molina ha hecho contribuciones al entendimiento de nuestra Tierra, por sus importantes estudios de los mecanismos de destrucción del ozono en las capas superiores de la atmósfera, lo cual le llevó a ganar el Premio Nobel de Química en 1995. Finalmente, esta breve pero ilustre lista de miem-

bros de El Colegio Nacional se completa con el doctor Julián Ádem Chahín, experto y pionero en la teoría del clima, quien nos acompaña en este evento. Con su ingreso, el doctor Urrutia se suma a esta lista de reconocidos expertos.

Permítanme ahora centrarme en la trayectoria del doctor Jaime Urrutia Fucugauchi. Él es un reconocido geofísico mexicano con una obra muy destacada en investigación, docencia, formación de recursos humanos, creación de infraestructura, laboratorios, programas, formación de grupos, organización de sociedades científicas y, finalmente, divulgación de la ciencia. Es pionero en nuestro país en las áreas de paleomagnetismo, magnetismo de rocas, arqueomagnetismo y cráteres de impacto, disciplinas que estudian los campos magnéticos preservados en estructuras que van de edificios prehispánicos a cadenas montañosas y volcanes, y a los cráteres de impacto. Estas áreas han tenido un desarrollo sumamente exitoso y se tienen

laboratorios y grupos de trabajo en la ciudad de México, Ensenada, Guadalajara, Juriquilla, Chihuahua, Mérida y Morelia, y practicantes en universidades, centros de investigación y otras instituciones de exploración petrolera y minera. Muchos de los investigadores que laboran en estos sitios se formaron con el doctor Urrutia Fucugauchi.

Es también iniciador en nuestro país del área de perforaciones profundas con objetivos científicos, a través de programas de colaboración internacionales. Ha sido el promotor y responsable de la participación en estos programas y de varios proyectos de perforación marina y terrestre, desarrollando técnicas de recuperación continua de muestras, registros geofísicos y propiedades petrofísicas. Estos desarrollos se han empleado en los estudios sobre el origen y naturaleza del cráter Chicxulub y la plataforma carbonatada del golfo de México, entre otros problemas.

El doctor Urrutia obtuvo su licenciatura en Ingeniería Geofísica en la UNAM, y la maestría y doctorado en la Facultad de Ciencias de la UNAM y en la Universidad de Newcastle upon Tyne, Inglaterra, respectivamente. En 1980 se incorporó al Instituto de Geofísica, y en 1984 es promovido a Investigador Titular "C", el máximo nivel en la UNAM, contando con sólo 32 años. Fue Director del Instituto de Geofísica por dos periodos consecutivos, de 1997 a 2005.

Su trabajo de investigación versa sobre la evolución de la Tierra y el Sistema Solar con un enfoque integral multi- e interdisciplinario, que se centra en interrogantes fundamentales sobre la formación, procesos evolutivos y mecanismos de transformación de los planetas. Los estudios se caracterizan por el involucramiento de estudiantes y su carácter original y novedoso, con enfoques teórico-experimentales que han requerido de la construcción

de un conjunto de laboratorios y del desarrollo de nuevos métodos.

Sus investigaciones se reportan en una amplia obra escrita, con más de 220 artículos y más de 3500 citas recibidas. Es un docente regular en los programas de licenciatura y posgrado, y su labor en la dirección de tesis a distintos niveles (21 de doctorado, 29 de maestría y 43 de licenciatura, para un total de 93, casi un centenar) es excepcional.

El doctor Urrutia Fucugauchi ha contribuido significativamente al estudio del cráter Chicxulub y la transición entre las eras geológicas del Mesozoico al Cenozoico. Esta transición, ocurrida hace 66 millones de años, marca el paso de la era de los dinosaurios a la era de los pequeños mamíferos y está relacionada a la ocurrencia de un fenómeno puntual: el impacto de Chicxulub. Es muy probable que los seres humanos descendamos de aquellos pequeños mamíferos y sin ese evento quizá no estaríamos aquí. Las contribuciones

del doctor Urrutia en esta área han sido fundamentales, determinando la edad del impacto, realizando tres programas de perforación y recuperación de muestras de las rocas de impacto y la caracterización geofísica del cráter y de las consecuencias del evento en Norte y Sudamérica, Caribe, Europa y Asia. Chicxulub es el cráter de mayores dimensiones mejor preservado y que retiene los depósitos de material fragmentado documentado en la Tierra y los estudios han permitido entender la formación de estas estructuras en otros cuerpos del Sistema Solar. Es necesario aclarar que el cráter ha sido con el paso del tiempo rellenado por material de otras partes y que su estudio se tiene que hacer mayormente con técnicas gravitacionales y magnéticas que permiten estudiar el interior de la Tierra. El doctor Urrutia ha liderado los proyectos internacionales de geofísica marina y diversos programas de perforaciones. Esta es un área de investigación que ha capturado la aten-

ción no sólo de los científicos sino también del gran público y ha sido importante que un científico mexicano sea uno de los líderes en los estudios relacionados al cráter de Chicxulub. Recientemente fue coautor de un artículo de reseña en la revista *Science* de lo conocido sobre impactos y la evolución de la vida, extinciones masivas de organismos y los cambios globales climáticos y ambientales. Es promotor y coordinador de exposiciones, eventos y publicaciones sobre el impacto, y recientemente del Museo de Ciencias Chicxulub, instalado en el Parque Científico y Tecnológico de Yucatán. La siguiente fase en marcha incluye la construcción de laboratorios de perforación y de investigaciones geofísicas en el parque de Yucatán.

Sus investigaciones incluyen una interesante componente de innovación y aplicaciones, con estudios de exploración de recursos minerales y energéticos, riesgos geológicos y contaminación ambiental, incluyendo los estudios de la actividad del

Popocatépetl y del sistema de drenaje profundo. El carácter interdisciplinario de sus estudios se refleja en ser editor asociado para varias revistas internacionales de geociencias, así como de revistas de ingeniería, minería y petróleo. Fundó el Colegio de Ingenieros Geofísicos, es miembro de la TWAS (Academia de Ciencias del Mundo en Desarrollo) y del consejo de directores para el International Year of Planet Earth. Actualmente es presidente de la Sociedad Mexicana de Física y miembro del consejo de directores del American Institute of Physics, entre otras actividades. También es Vicepresidente de la Academia Mexicana de Ciencias y en el futuro ocupará el puesto de Presidente.

Ha recibido un gran número de distinciones, destacando el Premio Nacional de Ciencias y Artes y el de la Academia Mexicana de Ciencias. Tiene una destacada participación en las sociedades científicas y organizaciones internacionales. Finalmente, su ingreso a El Colegio Nacional

es muy oportuno, pues no contábamos con ningún especialista en Tierra Sólida. La presencia del doctor Urrutia enriquecerá las actividades de El Colegio y en nombre de sus miembros, le doy una calurosa bienvenida.

Muchas gracias por su atención.

RECUERDOS DE TRABAJO

Julián Ádem

Muy buenas tardes estimada concurrencia. En primer lugar quiero felicitar al doctor Jaime Urrutia Fucugauchi por su ingreso a El Colegio Nacional. Esta distinción se debe a su extenso currículum, y a su notable trayectoria académica, así como a sus importantes aportaciones en las ciencias de la Tierra, que se suman a una destacada labor, cuyos conocimientos son utilizados en México y en otros países.

Siendo yo director del Instituto de Geofísica de la UNAM, conocí a Jaime cuando era estudiante de licenciatura contando ya con una importante publicación, lo que le valió para ser contratado como investigador asociado "C". Poco después, en el mismo Instituto, Jaime creó el laboratorio

de Paleomagnetismo y Geofísica Nuclear. Este hecho creó las condiciones para albergar los equipos de la primera estación sismológica en México, y para monitorear las explosiones nucleares.

Por todo lo anterior y por haber sido miembro del jurado en su examen de maestría, seguí muy de cerca sus capacidades y sus inquietudes como un académico competente, que me compartió su interés por el conocimiento profundo del paleomagnetismo, cuyos proyectos en diferentes modalidades, siempre apoyé.

Su destacado y sobresaliente desempeño como investigador en el Instituto de Geofísica, le ha permitido alcanzar desde hace mucho tiempo el nivel III en el Sistema Nacional de Investigadores.

Entre sus más notables aportaciones se encuentran los estudios sobre las propiedades de las rocas y minerales, así como también sus investigaciones en paleomagnetismo y geomagnetismo de la estructura de la corteza terrestre y sus placas tectóni-

cas; la gravimetría, magnetometría, exploración geofísica, paleoclimas, paleoambientes y contaminación.

Ha realizado investigaciones sobre el impacto del meteorito en Chicxulub, empleando métodos magnéticos en el estudio de litología, permitiendo caracterizar y preparar las diferentes mineralogías y su asociación con el impacto y la formación del cráter, despertando con ello interés internacional en este fenómeno.

En suma, es para mí un hecho de particular emotividad participar en esta bienvenida al doctor Urrutia, ya que ambos hemos compartido y colaborado en el estudio de las geociencias.

Somos dos diferentes generaciones, que en distintos momentos fuimos directores de nuestro querido Instituto de Geofísica. Dos generaciones impulsando el conocimiento de este apasionante tema, así como la formación de nuevos investigadores, comprometidos con el desarrollo de la ciencia en México.

Muchas gracias y bienvenido, Jaime.

ÍNDICE

<i>Palabras de salutación y bienvenida,</i> Octavio Novaro Peñalosa	9
<i>Chicxulub, cráteres de impacto y la evolución del sistema solar,</i> Jaime Urrutia Fucugauchi	13
<i>Contestación al discurso de ingreso de Jaime Urrutia Fucugauchi a El Colegio Nacional</i> Luis Felipe Rodríguez Jorge	51
<i>Recuerdos de trabajo</i> Julián Ádem	61

Chicxulub, cráteres de impacto y la evolución del sistema solar se terminó de imprimir el 28 de noviembre de 2014, en Uricua 40-B, Bosques Camelinas 58290, Morelia, Michoacan, México. En su composición se usó tipo New Baskerville 12:14, 10:12, 9:11 puntos. La edición consta de 1000 ejemplares. Coordinación editorial: María Elena Ávila Urbina. Corrección: Carlos Francisco Zúñiga y Vivian Cárdenas Segura.

Fotografía y diseño de portada:
Gerardo Márquez Lemus.