

Gaceta CHICXULUB



● Imagen: <https://www.gaceta.unam.mx/>

2021
Volumen 4-4

**Secretaría de Investigación, Innovación
y Educación Superior**

Calle 8, No. 347, San Esteban, 97149,
Mérida, Yucatán, Méx.
<https://siies.yucatan.gob.mx/>

**Instituto de Investigación Científica y
Estudios Avanzados Chicxulub**

Parque Científico y Tecnológico de Yucatán
Carretera Mérida-Sierra Papacal
km 5, C.P. 97302, Mérida, Yucatán, México
<http://www.craterchicxulub.com.mx/en/>
<http://pcty.com.mx/>



SIIES
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN
INNOVACIÓN Y EDUCACIÓN
SUPERIOR 2018 - 2024



Editorial

En este número se presentan avances de los proyectos del IICEAC y se incluyen reseñas de las actividades dentro de los programas de cooperación, en particular con Fundación UNAM y el Consorcio de Universidades por la Ciencia. En el IICEAC se realizan investigaciones inter- y multidisciplinarias sobre el cráter Chicxulub, efectos del impacto en los sistemas terrestres, extinciones de organismos y evolución, con estudios de la península, plataforma y Golfo de México.

El IICEAC cuenta con una infraestructura de laboratorios, litoteca y museo, con capacidades para las investigaciones y desarrollos tecnológicos. Las notas sobre los estudios de geofísica-geología de Chicxulub, Museo de Ciencias y análisis de la trayectoria y ángulo de impacto reseñan parte de estas capacidades. El IICEAC cuenta con un grupo de investigación, con académicos y estudiantes, quienes realizan los estudios y establecen colaboraciones con diferentes grupos y en programas internacionales como los de Perforaciones en Océanos y Continentes. Parte de las actividades se ilustran en resúmenes de las publicaciones en revistas sobre los análisis de compuestos de tiofeno en los cráteres Chicxulub y Gale Marte y experimentos de ablación laser de simulación de la pluma de impacto. En las tesis se completaron los proyectos sobre modelado/procesado de trazas sísmicas en exploración sísmica de reflexión y sobre el meteorito condritico Allende.

En las acciones de cooperación con la Unión Europea de Geociencias (EGU) se tiene la organización del Taller Panamericano GIFT (Geosciences Information for Teachers) que consta de tres talleres a realizarse en Yucatán, África del Sur y Australia. El taller en Yucatán programado para octubre 2021 se ha postpuesto para el próximo año. En el periodo se desarrollarán materiales educativos para ciencias. GIFT incluye talleres en la Asamblea EGU anual en Austria y en diferentes países. Ésta sería la tercera ocasión que se realiza en México.

La iniciativa del Consorcio Universidades por la Ciencia ha creado formas innovadoras de cooperación e interconexión de profesores y estudiantes en investigación en diferentes áreas, abriendo espacios atractivos para la cooperación, transmisión y aprovechamiento de conocimientos científicos, las relaciones e intercambios entre grupos en el ciclo de conferencias de investigación y de divulgación científica y apropiación social del conocimiento en el ciclo de documentales de divulgación. Los ciclos han ampliado los alcances en difusión, colabora-

ciones con estudiantes, profesores e investigadores y las relaciones internacionales con otras universidades. Los ciclos son semanales, con las conferencias los martes y los documentales los jueves de ciencia y eventos adicionales en otros días de la semana. Se transmiten por las redes de fundación y las universidades participantes, lo que ha ampliado la cobertura a varios países.

Los ciclos se realizan en coordinación con el Consorcio de Universidades por la Ciencia con la Fundación UNAM, universidades y centros de investigación, centros UNAM-Reino Unido y Arizona. El Consorcio publica una Newsletter, carteles y videoclips para cada actividad, con difusión en los medios, entrevistas en radio y televisión, notas periodísticas y artículos.

El ciclo de conferencias ha incluido investigaciones recientes y nuevos resultados, sobre evolución de la vida, biodiversidad, genómica, registro fósil, salud, epidemias, vacunas, cambio climático. Las conferencias son semanales y en este año se han dirigido a ciencias de la Tierra, planetarias, física y matemáticas, con física cuántica, nanociencias, relatividad, astrofísica, radioastronomía, física médica y nuevos materiales. Se han presentado más de 50 conferencias. Los eventos especiales han incluido reconocimientos a Mario Molina y Carlos Frenk y la participación del premio nobel William Phillips. El ciclo de física-matemáticas es coordinado por el Instituto de Ecología, IIMAS y Centro Innovación Matemática de la Universidad de Bath, con Araxi Urrutia, Luis Silva y Kiril Cherednichenko. El ciclo de documentales incluye los documentales producidos por InMedia con el Sistema Público de Radiodifusión SPR y la AMC. Las transmisiones se realizan por Tv UNAM como parte del ciclo FUNAM en Tv UNAM Nuestra Nueva Realidad con la participación de paneles de comentaristas y preguntas y comentarios de los participantes.

La iniciativa abre espacios, acortando distancias y construyendo puentes de colaboración. El Consorcio de Universidades por la Ciencia se enmarca en los objetivos del Milenio y agenda 2030 de Naciones Unidas en la construcción de una red global de ciencias. Con la Secretaria SIIES e instituciones del Consorcio colaboramos para que las nuevas generaciones tengan una sólida formación en ciencias y humanidades y que como sociedad tengamos una mejor comprensión de la ciencia y la tecnología.

● Jaime Urrutia Fucugauchi

Contenido

Editorial	2
Contenido	3
Museo de Ciencias Chicxulub	4
Análisis de asimetría de rasgos estructurales del cráter Chicxulub a partir de sus anomalías de campos potenciales y su relación con la trayectoria del cuerpo impactor	10
Estudios geofísicos y perforaciones en Yucatán – antecedentes y avances	14
Retos y oportunidades del sector energético	20
Thiophene trends in sediments of two impact craters: Chicxulub and Gale. Implications to surface environmental conditions	21
Physical characterization of a simulated impact -vapor plume using laser ablation of Chicxulub sediments	22
Chicxulub museum, geosciences in Mexico, outreach and science communication – built from the crater up	23
Aumento en la resolución temporal de la imagen sísmica reduciendo el efecto de stretching en la traza	24
Estudio del meteorito condrítico Allende	26
UNAM, preparada para hacer mapeo del fondo marino	27
Revista Ingeniería Petrolera	28
Consortio Universidades por la Ciencia	29
Universidades por la Ciencia conferencias, documentales	30
Universidades por la Ciencia Congreso EGU, European Geosciences Union 2021	31

ARTÍCULOS

AVANCES

CONFERENCIAS

PUBLICACIONES

TESIS

NOTICIAS

Museo de Ciencias Chicxulub

● JAIME URRUTIA FUCUGAUCHI, LIGIA PÉREZ CRUZ
Y ARAXI URRUTIA ODABACHIAN



● Fig. 1. Vista del Instituto de Investigación Científica y Estudios Avanzados Chicxulub, con el Museo de Ciencias, laboratorios y Litoteca

El Museo de Ciencias Chicxulub tiene como objetivos principales fortalecer las capacidades e infraestructura en Yucatán, proveyendo espacios de difusión, educación y de apropiación social del conocimiento. El museo forma parte del Instituto de Investigación Científica y Estudios Avanzados Chicxulub (IICEAC) y se enmarca en los programas educativos y de divulgación y los proyectos de investigación e innovación tecnológica sobre el cráter Chicxulub, extinción de organismos, sistema Tierra, geofísica y perforaciones en Yucatán. El IICEAC incluye instalaciones de investigación, laboratorios y museográficas, que contribuyen al Sistema de Investigación, Innovación y Educación Superior de Yucatán (SIIDETRY).

El museo interactivo integra actividades de investigación dentro de las propuestas museográficas, lo que expande y enriquece las experiencias educativas. El museo integra los proyectos en marcha sobre Chicxulub,

programas internacionales, estudios geofísicos marinos, terrestres y aéreos y las perforaciones científicas. Entre ellos, los estudios de geofísica marina y geología y geotecnia, perforaciones marinas, karsticidad, anillo de cenotes, acuífero, flujos de agua subterránea e intrusión marina, procesos costeros y relaciones del impacto con la extinción de especies y evolución.

Dentro de este marco conceptual, con exhibiciones museográficas, instalaciones y capacidades de investigación se conjugan diversos factores, que confieren al proyecto amplias ventajas y un alto potencial de desarrollo. Los planes incluyen la participación y colaboración de investigadores y estudiantes en los proyectos de investigación y actividades, que opera en forma combinada como museo y centro de investigaciones. En el Parque, las instalaciones y proyectos presentan un potencial alto para programas de divulgación y educativos.

Objetivos Generales

- Divulgar la cultura, la investigación científica, innovación tecnológica y las actividades educativas entre la comunidad académica y público, entender las relaciones de procesos geológicos, planetarios y biológicos en la evolución de la vida y del planeta.
- Proporcionar experiencias educativas que permitan apreciar por qué el impacto Chicxulub ha generado el interés de la comunidad científica, el carácter multidisciplinario de los estudios, lo que hemos aprendido a través de los diferentes proyectos, preguntas e interrogantes, retos para las investigaciones y los proyectos en marcha, las innovaciones tecnológicas y metodológicas generadas en los estudios, las implicaciones que el evento de impacto y el cráter presentan para Yucatán, incluyendo los aspectos geohidrológicos, geológicos, geofísicos y geomorfológicos y lo que Chicxulub representa en la evolución del planeta.
- Contribuir a los objetivos, aportando elementos que fortalezcan las actividades, incluyendo en particular la divulgación científica y las educativas. Dar difusión y visibilidad a proyectos e instituciones del SIIDETEX, promover colaboraciones y participación de académicos y estudiantes.
- Proporcionar espacios y foros para proyectos inter- y multidisciplinarios, incluyendo aquellos aplicados y de potencial beneficio a la sociedad.
- Colaborar con las instituciones de SIIDETEX y Parque Científico y Tecnológico de Yucatán.

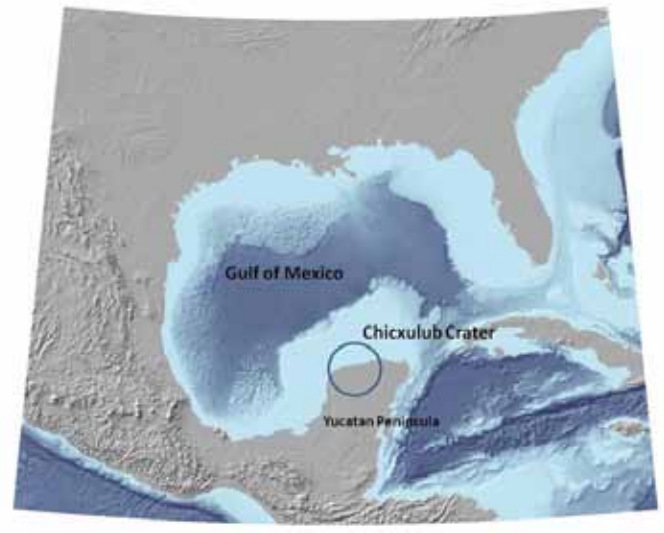
El Cráter Chicxulub

Las investigaciones sobre Chicxulub y el límite Cretácico/Paleógeno (K/Pg) han abierto campos de estudio, cambiando las concepciones sobre los procesos geológicos, mecanismos de interacción y retroalimentación de los sistemas terrestres litosfera-atmósfera-hidrosfera-biosfera, las colisiones de asteroides y cometas, la evolución de la vida, formación de las superficies planetarias y la evolución del sistema solar. Las investigaciones, que en su inicio involucraron geofísica, geología, química, biología y paleontología, actualmente abarcan muy diversas disciplinas, explorando interconexiones, integrando datos



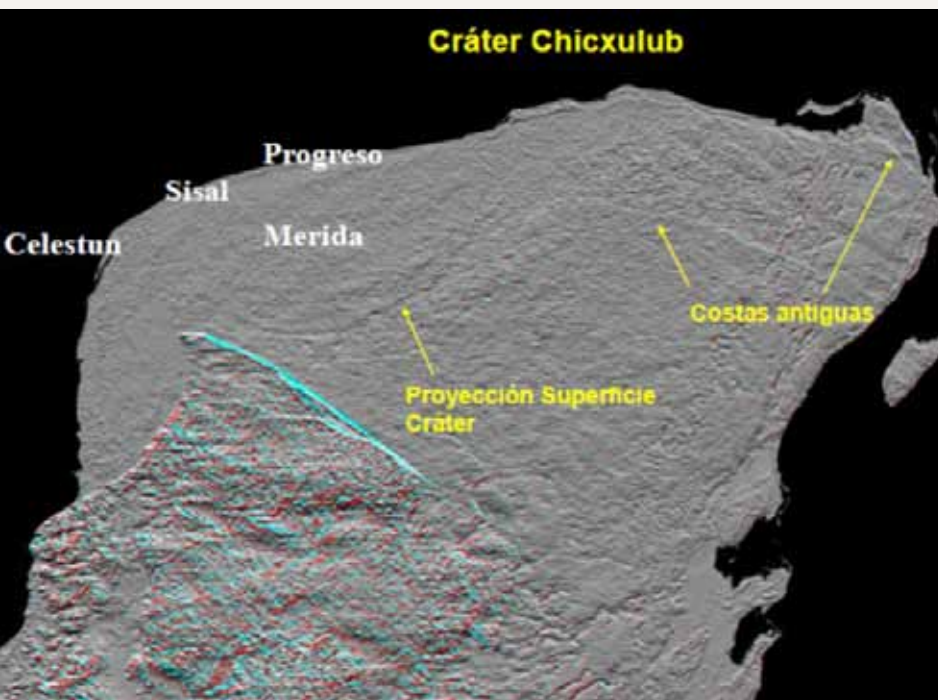
● Fig. 2. Vista de la entrada al Museo de Ciencias Chicxulub

e hipótesis dentro de contextos cada vez más amplios. Los estudios contribuyen a las investigaciones del origen y evolución del Golfo de México, Caribe y plataforma carbonatada y Yucatán. La estructura del cráter tiene relaciones con las características geológicas de la península, los flujos de agua subterránea, la intrusión de agua marina, formación de estructuras cársticas y cenotes y la morfología superficial y de las zonas costeras.



● Fig. 3. Localización del cráter Chicxulub en la plataforma carbonatada de Yucatán

En las salas del museo se presenta el desarrollo de las investigaciones en los distintos campos del conocimiento. Como el hallazgo de una delgada capa de arcilla condujo a entender la frontera entre las eras geológicas



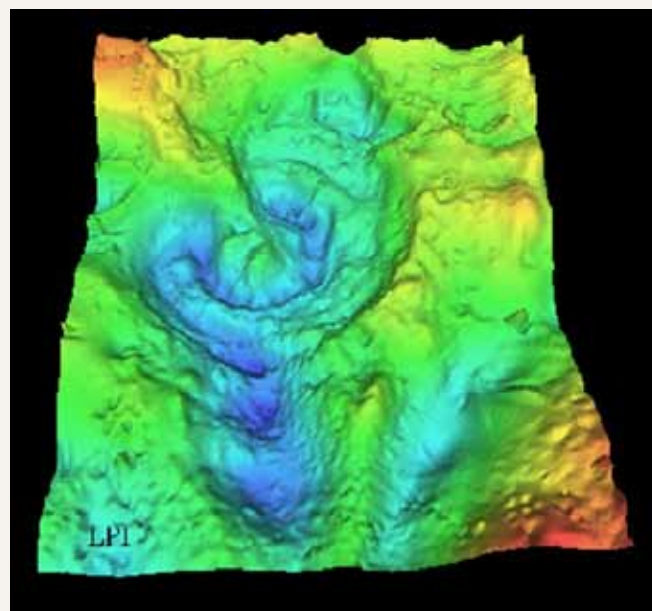
de las superficies y litosferas planetarias con los ricos yacimientos de níquel y platino del cráter Sudbury en Canadá o los campos petroleros del sureste del Golfo de México y la Sonda de Campeche.

El elemento que une los diversos campos de investigación es Chicxulub. Los estudios sobre Chicxulub, formado por el impacto de un asteroide hace 66 millones de años en la plataforma de Yucatán, han aportado la evidencia en apoyo a la teoría de impacto y han ampliado las líneas de investigación en ciencias planetarias, paleontología, geofísica, geología y geoquímica, las cuales recientemente convergen - complementando y ampliando - las misiones planetarias en el sistema solar. En el conjunto de exposiciones se expone como estos estudios sobre la colisión de un asteroide se han transformado en un campo multi- e interdisciplinario

sobre la evolución de la vida, del planeta y del sistema solar - qué preguntas permanecen y cuáles son las perspectivas futuras.

● Fig. 4. Imagen de satélite de interferometría de radar de la península de Yucatán. El cráter Chicxulub con un diámetro aproximado de 200 km se localiza en la porción noroeste. Observe el rasgo semi-circular que marca la proyección del cráter en superficie, marcado por una pequeña depresión topográfica asociada al anillo de cenotes

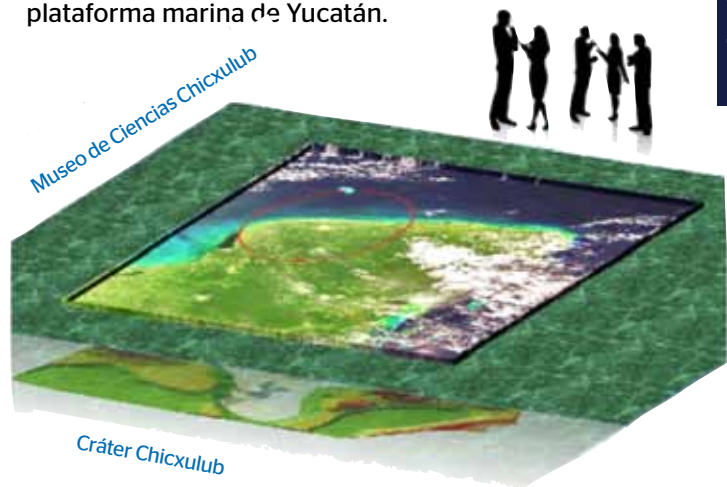
del Mesozoico y Cenozoico - el paso de la era de los dinosaurios a la era de los mamíferos. Cómo estudios paleontológicos y estratigráficos en secuencias carbonatadas en Italia y otras partes de Europa, exploraciones petroleras en el Golfo de México y análisis de muestras de rocas y suelo lunar permiten estudiar las extinciones de organismos, evolución, el sistema solar, cráteres y superficies planetarias, asteroides, procesos geológicos, minerales de alta presión y temperatura, etc. De qué forma los estudios sobre las extinciones de especies, los dinosaurios, las extinciones masivas se relacionan con los modelados de efectos de guerras nucleares, los modelos climáticos, las simulaciones de inviernos nucleares. Cómo los análisis químicos de elementos del grupo del platino están asociados a los estudios sobre el polvo cósmico, la evolución y los procesos dinámicos en el cinturón de asteroides, el origen de la dicotomía hemisférica de Marte, los objetos NEO en orbitas dentro del sistema solar interior, los cometas, la nube de Oort y el cinturón de Kuiper en los confines del sistema solar. Cuáles son las relaciones entre el origen de cráteres recientes en la Luna y la evolución



● Fig. 5. Anomalías gravimétricas del cráter Chicxulub, mostrando la morfología multianillo (Sharpton et al., 1993). El cráter está parcialmente en mar y parcialmente en tierra, con centro geométrico en la línea de costa en Chicxulub Puerto

En la evolución del sistema solar, con la formación del proto-sol y la agregación de material y gases se dio paso a la conformación de cuerpos cada vez de mayor tamaño, que constituyeron los planetesimales. La colisión de estos cuerpos fue un proceso importante en el origen de los planetas. En estas etapas iniciales las colisiones y formación de cráteres de gran tamaño fue un proceso dominante, que puede ser parcialmente estudiado en el registro de algunas de las superficies como en la Luna, que conserva vestigios de estas grandes colisiones. En las exhibiciones y módulos interactivos se proporciona una perspectiva de la formación de sistemas planetarios y su evolución. El impacto que forma el cráter Chicxulub es en estos contextos un impacto de menor tamaño, que sin embargo tiene la capacidad de generar efectos globales y modificar los sistemas de soporte de vida en el planeta.

efectos se tienen en escalas de miles de años. El cráter a pesar de su gran tamaño no es fácilmente observable en superficie y es difícil que los visitantes aprecien sus dimensiones, su forma y su posición en la península y plataforma marina de Yucatán.



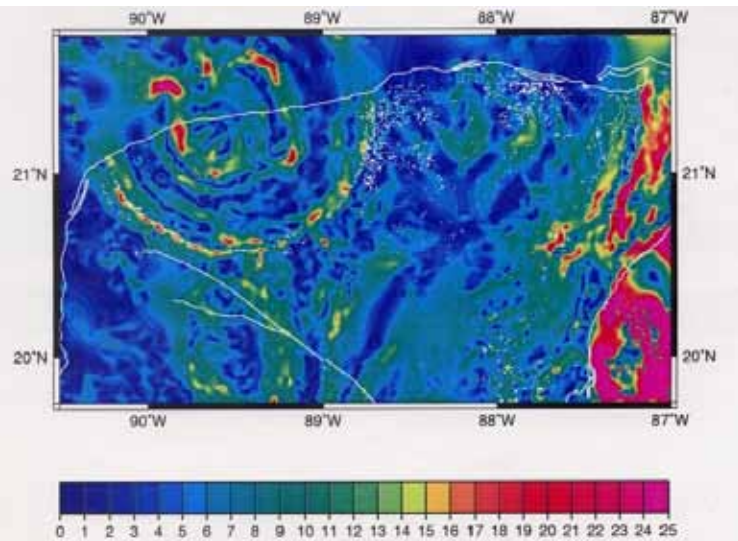
● Fig. 7. Vista esquemática de uno de los módulos, ilustrando el tamaño del cráter, su localización en el subsuelo, como se vería en una simulación e imagen tridimensional de la estructura

El Cráter Chicxulub

¿Qué hace a Chicxulub interesante? ¿Qué contribuciones a la ciencia se han derivado de los estudios en Chicxulub? En éstas y otras interrogantes que pudiéramos plantear se unen los diferentes aspectos y objetivos del Museo, como espacios de divulgación científica, educativos y de investigación.



● Fig. 8. Vista de una de las salas del museo sobre las investigaciones del cráter Chicxulub, con las perforaciones, análisis de núcleos y levantamientos geofísicos



● Fig. 6. Gradiante horizontal de la anomalía gravimétrica de Chicxulub (unidades gravimétricas por km). Los círculos blancos representan los cenotes en la península. El semicírculo de cenotes coincide con la anomalía y el borde del cráter.

En las etapas iniciales del proyecto del Museo se han diseñado y evaluado diversos equipamientos y exhibiciones, con el propósito de atraer el interés y la atención de los visitantes y contar con elementos educativos y de investigación. Los amplios rangos en tamaño, tiempos y mecanismos plantean retos, ya que los impactos como el de Chicxulub involucran altas energías, presiones y temperaturas, ocasionan cambios globales en los sistemas terrestres, ocurren en segundos a minutos y sus

- El impacto Chicxulub marca uno de los eventos mayores en la evolución de la vida con la transición de la era de los dinosaurios a la era de los mamíferos.
- Los estudios del impacto abordan los mecanismos y procesos e efectos globales en la atmósfera, hidrosfera, geosfera y biosfera, involucrados en las extinciones masivas de organismos. Los efectos del impacto Chicxulub alteraron los sistemas de soporte de vida en el planeta produciendo la extinción de alrededor del 76 % de las especies.
- El cráter Chicxulub constituye un laboratorio natural para las investigaciones de la formación y evolución de las superficies planetarias. Las superficies de los diferentes cuerpos en el sistema solar están caracterizadas por cráteres de impacto. En contraste en la Tierra, debido a los diferentes procesos tectónicos, volcánicos y erosivos los cráteres de impacto son poco numerosos. En el registro terrestre, Chicxulub representa uno de los tres cráteres de gran tamaño y morfología multianillo documentados y de ellos es el mejor preservado.
- El impacto produjo efectos en la zona del Golfo de México y Atlántico central, con la generación de tsunamis y deformación de la plataforma y zonas aledañas. El tsunami de Chicxulub es el más intenso en el registro geológico, órdenes de magnitud más intenso que los ocurridos recientemente en el Océano Índico y en Japón.

- El material fragmentado y expulsado en el impacto tuvo una dispersión global. Una parte alcanzó velocidades de escape, salió fuera del planeta, una parte reingreso produciendo calentamiento en la atmósfera (generando la bola de fuego) y la parte más fina cubrió el planeta produciendo bloqueo de la radiación solar, los procesos de fotosíntesis y cambio climático. El material fino se depositó formando una capa marcadora y constituye la capa K/Pg que constituye la única capa marcadora de extensión global.
- La formación del cráter modificó los procesos sedimentarios en la plataforma, cuyos efectos continúan observándose. La estructura enterrada controla parte de los procesos de flujo de agua subterránea e intrusión marina en la península. El estudio del cráter aporta elementos importantes para la investigación geohidrológica y geológica en Yucatán.
- La formación de cráteres de gran tamaño involucra excavación profunda en la corteza, generando una serie de procesos, incluyendo la formación de sistemas hidrotermales y de fluidos mineralizantes. Otro aspecto relacionado a recursos minerales y energéticos es la formación de las brechas carbonatadas en el Golfo de México.



● Fig. 9. Vista de la sala introductoria a las exhibiciones y el impacto Chicxulub

Chicxulub es uno de los tres cráteres de impacto de mayor tamaño en el registro terrestre, asociado a uno evento que marca la evolución de la vida. El impacto Chicxulub ocasionó cambios globales en el clima y ambiente y la extinción de especies en el límite Cretácico-Paleógeno, entre ellas los dinosaurios, las amonitas y muchas otras especies y marcó el inicio de la era Cenozoica, con la diversificación de los mamíferos.

Los estudios sobre el cráter presentan un carácter multi- e interdisciplinario y se relacionan con un amplio rango de investigaciones sobre extinción de organismos, evolución de la vida, impactos de cometas y asteroides, evolución de las superficies planetarias, comportamiento de materiales en altas presiones y temperaturas, evolución tectónica, geohidrología, plataformas carbonatadas y cambios climáticos globales.

El cráter representa un laboratorio natural para investigar los impactos de grandes dimensiones en la Tierra y otros cuerpos del Sistema Solar. En los últimos años se han llevado a cabo diversos estudios geofísicos y geológicos y programas de perforación en Yucatán, incluyendo los estudios geofísicos (gravimetría, aeromagnetometría, electromagnéticos, sísmica de reflexión y refracción, imágenes de satélite, perforaciones profundas con recuperación continua de núcleos) en la zona marina y terrestre del cráter, que han aportado nueva información sobre la estratigrafía, estructura, formación del cráter, emplazamiento de las brechas de impacto y los efectos regionales y globales del impacto.



● Fig. 10. Vista de la sala de vida en el tiempo geológico

Análisis de asimetría de rasgos estructurales del cráter Chicxulub a partir de sus anomalías de campos potenciales y su relación con la trayectoria del cuerpo impactor

● MAURICIO NAVA FLORES

El cráter Chicxulub, ubicado en Yucatán, México, es una de las tres estructuras de impacto más grandes conocidas en la Tierra y la mejor preservada de ellas¹, que ha sido objeto de estudio por más de 40 años debido a su asociación con el evento de extinción masiva que marcó el fin de la era Mesozoica hace aproximadamente 65.5 Ma². Actualmente el cráter se encuentra sepultado bajo una capa de sedimentos carbonatados con espesor cercano a 1 km y por lo tanto, el conocimiento que se tiene acerca de sus características estructurales y la composición de los materiales que lo conforman se debe principalmente a estudios geofísicos y pozos perforados en la zona³⁻⁷.

Uno de los elementos importantes relacionados con la formación del cráter Chicxulub, aún en debate, es la trayectoria del bólido impactor. La distribución de material de eyecta proximal es el elemento de diagnóstico más confiable en el reconocimiento de cráteres formados por impactos oblicuos, así como en la estimación de la dirección de aproximación del impactor⁸. Sin embargo, debido a que probablemente gran parte del material de eyecta proximal del cráter Chicxulub ya fue erosionado o se encuentra sepultado⁹, la trayectoria se ha estimado empleando otros criterios asumiendo que el ángulo de elevación del impactor influyó en la forma y estructura final del cráter, como se ha observado en experimentos balísticos en los que la forma de los cráteres resulta circular para ángulos de elevación mayores a un ángulo crítico y elíptica, con el eje mayor en dirección de la trayectoria del impactor, para ángulos de elevación menores¹⁰. Para el cráter Chicxulub se han propuesto tres diferentes trayectorias de impacto: SE a NW con ángulo de elevación de 20° a 30°¹¹, SW a NE con ángulo de elevación cercano a 60°¹² y NE a SW con ángulo de elevación entre 45° y 60°¹³, siendo esta última la más probable, dada la cantidad de datos e información analizada en su estimación.

Con el objeto de establecer un procedimiento útil para obtener información acerca de los elementos

estructurales del cráter Chicxulub y coadyuvar con la estimación de trayectoria del impactor, se presenta una metodología para la interpretación de rasgos de aspecto circular o elíptico relacionados con su estructura interna, basada en el procesamiento de los datos de anomalía de campos potenciales y el empleo de un método de optimización global para ajustar los rasgos con curvas elípticas y cuantificar su ajuste.

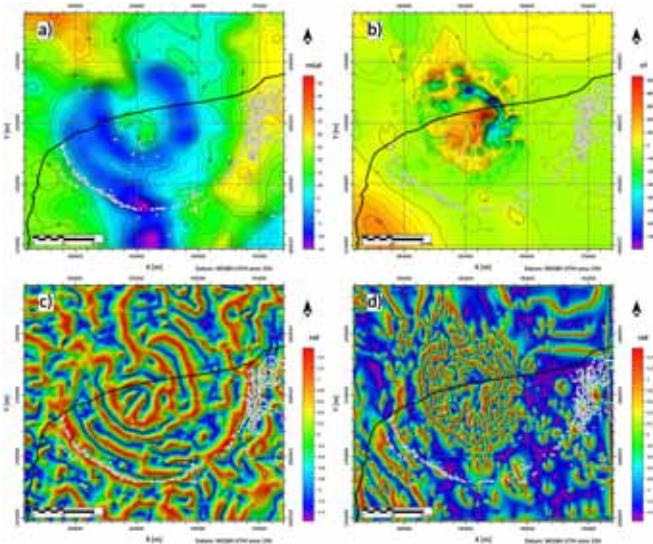
Para realzar los bordes asociados a la estructura del cráter, se mapeó el ángulo de inclinación entre gradientes, aplicado al gradiente horizontal (AIG_GH) de las anomalías gravimétrica y magnética¹⁴:

$$AIG_GH = \tan^{-1} \left[\frac{\frac{\partial}{\partial z} GH}{\sqrt{\left(\frac{\partial}{\partial x} GH\right)^2 + \left(\frac{\partial}{\partial y} GH\right)^2}} \right] \dots (1)$$

dónde GH es el gradiente horizontal de la anomalía gravimétrica o magnética (δf):

$$GH = \sqrt{\left(\frac{\partial}{\partial x} \delta f\right)^2 + \left(\frac{\partial}{\partial y} \delta f\right)^2}$$

Debido a las propiedades de la función arco tangente implícita en su cálculo (1), el operador AIG_GH ecualiza los valores del gradiente horizontal, que es en sí un método de realce de bordes, al rango $-\pi/2$ a $\pi/2$, ubicando sus máximos sobre los contactos de las fuentes de anomalía y sus mínimos sobre su centro (zonas con gradiente horizontal mínimo o nulo), dando por resultado un mapa ecualizado de los bordes de las estructuras con contactos realzados independientemente de sus valores relativos de gradiente horizontal (Figuras 1c y 1d).



● Figura 1. Anomalías de campos potenciales del cráter Chicxulub y procesos de realce de bordes aplicados. a) Anomalia gravimétrica. b) Anomalia magnética. c) Ángulo de inclinación aplicado al gradiente horizontal de la anomalía gravimétrica. d) Ángulo de inclinación aplicado al gradiente horizontal de la anomalía magnética reducida al polo. La línea de costa está representada por una línea negra continua y los cenotes se indican con puntos blancos.

Una vez aplicado el proceso de realce de bordes, se generaron mapas considerando sólo los máximos y mínimos del AIG_GH asociados a los bordes y centros de las estructuras del cráter, en los que se revela claramente su naturaleza circular o elipsoidal (Figuras 2a y 2b) y permiten su interpretación en relación a los elementos que lo constituyen y han sido identificados en estudios previos como el borde interno, anillo de picos y levantamiento central.

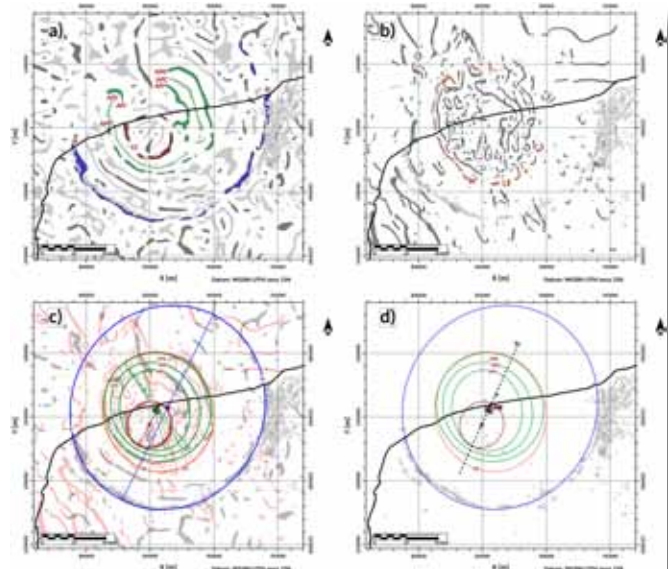
Finalmente, se identificaron los rasgos asociados con la estructura interna del cráter y se ajustaron con curvas elípticas, considerando los máximos del AIG_GH (excepto la región central del anillo de picos, para la que se consideró el mínimo del AIG_GH). En las Figuras 2a y 2b se muestran los rasgos estructurales identificados, etiquetados en letras mayúsculas: borde interno del cráter (BI), límite interno del anillo de picos (API), límite externo del anillo de picos (APE), región central del anillo de picos (APC), límite exterior de la capa de roca fundida (RF) y levantamiento central (LC).

Para realizar el ajuste, se utilizó una variante del método de optimización global denominado Optimización por Enjambre de Partículas (PSO)^{15, 16}, libre de parámetros, basado en el algoritmo PSO en nube¹⁷.

Como función de costo se consideró el error L2 normalizado con respecto al número de puntos ajustados, entre el conjunto de puntos ubicados sobre los bordes de las estructuras interpretadas y la curva elíptica más cercana a los puntos: $\phi = \frac{1}{N} \|2a - (\overline{pf_1} + \overline{pf_2})\|_2$ (2a es la longitud del eje mayor de la elipse y $\overline{pf_1}$ y $\overline{pf_2}$ son las distancias entre los puntos y los focos de la elipse).

En las Figuras 2c y 2d se muestran las curvas elípticas ajustadas a los rasgos estructurales del cráter, mientras que en la Tabla 1 se pueden consultar los detalles cuantitativos del ajuste realizado.

Las elipses exhiben tres orientaciones preferenciales en sus ejes mayores: Las elipses que ajustan los rasgos asociados al BI y LC presentan un ángulo acimutal para su eje mayor de 26.1° a 28.0°, mientras que para las elipses que ajustan los rasgos RF y API, ese ángulo es de -15.4° a



● Figura 2. Patrones geométricos detectados en la estructura del cráter Chicxulub y su ajuste con curvas elípticas. a) Máximos del AIG_GH de la anomalía gravimétrica en color gris oscuro y mínimos del AIG_GH de la anomalía gravimétrica en color gris claro. Se realzan las estructuras del cráter con colores: rojo (LC), verde (API, APC y APE) y azul (BI). b) Máximos del AIG_GH de la anomalía magnética. Se realza en color naranja el rasgo RF. c) Curvas elípticas ajustadas a los rasgos estructurales interpretados, sobre los máximos del AIG_GH de la anomalía gravimétrica (gris) y magnética (rojo). Se muestran los ejes mayores de las elipses, así como sus centros. d) Elipses interpretadas con sus centros indicados como cruces de colores. Se muestra la recta que ajusta los centros de las elipses como una línea negra discontinua, con la etiqueta Tr. El triángulo gris al NE del centro del cráter (triángulo rojo) indica el punto de máximo levantamiento del manto bajo el cráter.

-18.0° y para las elipses que ajustan los rasgos APC y APE, el ángulo es de -34.5° a -37.1°. De estas tres tendencias en la orientación de los rasgos elípticos ajustados, se encontró que hay mayor homogeneidad en el achatamiento y ángulo acimutal entre las elipses correspondientes al BI y LC que en las elipses correspondientes a las otras dos tendencias.

Con la finalidad de determinar si las formas de los rasgos estructurales del cráter corresponden en menor o mayor medida a formas circulares o elípticas, se realizó un ajuste con el mismo método PSO empleando circunferencias (no se despliegan gráficamente) y se encontró, en todos los casos, que el error de ajuste fue menor al emplear elipses. El rasgo estructural más circular (menor achatamiento) es el APE, mientras que el rasgo más elíptico (mayor achatamiento) es el API. Cabe mencionar que los centros de las circunferencias ajustadas se ubican muy cerca de los centros de las elipses, a distancias que varían desde 16.76 m (LC), hasta 2.22 km (BI).

En cuanto a la relación entre el ángulo de impacto y la forma del cráter, experimentos de laboratorio han

mostrado que en materiales no consolidados, el ángulo crítico es de 5° a 15°¹⁰, mientras que en metales puede alcanzar valores que van de 30° a 40°¹⁸. Por otro lado, con base en observaciones de cráteres en la Luna, Venus y Marte, el ángulo crítico puede variar entre 12° y 15°¹⁹ y de acuerdo a simulaciones numéricas, el ángulo podría llegar a ser de 45° o mayor¹³ (Figuras suplementarias 9 y 10). De acuerdo a lo anterior, la forma elíptica del cráter Chicxulub y la dirección de los ejes mayores de las elipses que ajustan al levantamiento central (LC) y al borde interno (BI), indicarían una trayectoria NE-SW con un ángulo de inclinación de 45° a 60° y un ángulo acimutal de 26° a 28°.

Finalmente, la recta Tr (Figura 2d), que es colineal con los centros de las elipses que ajustan a los rasgos LC, API, APC, APE y RF, también lo es con el punto de máximo levantamiento del manto bajo el cráter²⁰, además de ser casi paralela a los ejes mayores de las elipses que ajustan a los rasgos BI y LC (ángulo acimutal de 24.4°) y podría representar la trayectoria del impactor, concordando con la última estimación de publicada¹³.

Referencias

- Grieve R, Theriault A 2000. Vredefort, Sudbury, Chicxulub: three of a kind? *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 28(1): 305-338.
- Schulte P, Alegret L, Arenillas I, Arz JA, Barton PJ, Bown PR, Willumsen P S et al. 2010. The Chicxulub asteroid impact and mass extinction at the Cretaceous-Paleogene boundary. *Science*, 327(5970): 1214-1218.
- Hildebrand A, Pilkington M, Connors M, Ortiz Alemán C, Chávez RE 1995. Size and structure of the Chicxulub crater revealed by horizontal gravity gradients and cenotes. *Nature*, 376(6539): 415-417.
- Morgan J, Warner M, and the Chicxulub Working Group 1997. Size and morphology of the Chicxulub impact crater. *Nature* 390(6659): 472-476.
- Pilkington M, Hildebrand AR 2000. Three-dimensional magnetic imaging of the Chicxulub crater. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 105(B10): 23479-23491.
- Gulick SP, Morgan JV, Mellett CL, Green SL, and the Expedition 364 Scientists 2017. Expedition 364 summary. *Proceedings of the International Ocean Discovery Program*, 364.
- Ortiz Alemán C, Martín R, Urrutia Fucugauchi J, del Castillo MO, and Nava Flores, M 2021. Imaging the Chicxulub Central Crater Zone from Large-Scale Seismic Acoustic Wave Propagation and Gravity Modeling. *Pure and Applied Geophysics*, 178(1): 55-77.
- Pierazzo E, Melosh HJ 2000. Understanding oblique impacts from experiments, observations, and modeling. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 28(1): 141-167.
- Morgan J, Lana C, Kearsley A, Coles B, Belcher C, Montanari S, Díaz Martínez E, Barbosa A, Neumann V 2006. Analyses of shocked quartz at the global KP boundary indicate an origin from a single, high-angle, oblique impact at Chicxulub. *Earth and Planetary Science Letters*, 251(3-4): 264-279.
- Gault DE, Wedekind JA 1978. Experimental studies of oblique impact. In *Lunar and Planetary Science Conference Proceedings*, 9: 843-875.
- Schultz PH, D'Hondt S 1996. Cretaceous-Tertiary (Chicxulub) impact angle and its consequences. *Geology*, 24(11): 963-967.
- Hildebrand AR, Pilkington M, Halpenny J, Cooper R, Connors M, Ortiz Alemán C, Chávez RE, Urrutia Fucugauchi J, Ganiel Castro E, Camara Zi A, Buffler RT 1998. Mapping Chicxulub crater structure with overlapping gravity and seismic surveys. In *Lunar and Planetary Science Conference No. 1821*: 1821.
- Collins GS, Patel N, Davison TM, Rae AS, Morgan JV, Gulick SP 2020. A steeply-inclined trajectory for the Chicxulub impact. *Nature communications*, 11(1): 1-10.
- Ferreira FJF, de Souza J, de B. e S. Bongolio A, de Castro LG 2013. Enhancement of the total horizontal gradient of magnetic anomalies using the tilt angle. *Geophysics*, 78(3): J33-J41.

15. Eberhart R, Kennedy J 1995. A New Optimizer Using Particle Swarm Theory. In MHS'95. Proceedings of the Sixth International Symposium on Micro Machine and Human Science, 39-43, IEEE.
16. Shi Y, Eberhart R 1998. A Modified Particle Swarm Optimizer 1998. IEEE international conference on evolutionary computation proceedings. IEEE world congress on computational intelligence, Cat. No. 98TH8360, 69-73, IEEE.
17. Fernández Martínez JL, García Gonzalo E, Fernández Muniz Z, Mukerji T 2011. How to design a powerful family of particle swarm optimizers for inverse modelling. Transactions of the Institute of Measurement and Control, 34(6): 705-719.
18. Christiansen EL, Cykowski E, Ortega J 1993. Highly oblique impacts into thick and thin targets. International Journal of Impact Engineering, 14(1-4): 157-168.
19. Bottke Jr WF, Love SG, Tytell D, Glotch T (2000). Interpreting the elliptical crater populations on Mars, Venus, and the Moon, Icarus, 145(1): 108-121.
20. Christeson GL, Collins GS, Morgan JV, Gulick S P, Barton PJ, and Warner, MR 2009. Mantle deformation beneath the Chicxulub impact crater. Earth and Planetary Science Letters, 284(1-2): 249-257.

Tablas y Figuras

Tabla 1. Parámetros cuantitativos del ajuste de rasgos estructurales del cráter Chicxulub con el algoritmo PSO.

Ajuste con curvas elípticas						
	LC	API	APC	APE	RF	BI
Long. semieje mayor [km]	18.448	31.891	37.704	43.346	47.338	80.85
Long. semieje menor [km]	17.119	27.298	33.841	41.13	43.18	75.413
<u>Coords. centro [km]</u>	x: 849.392 y: 2343.869	x: 853.5 y: 2355.087	x: 854.181 y: 2356.197	x: 855.78 y: 2357.604	x: 856.416 y: 2354.044	x: 863.798 y: 2357.48
Ángulo acimutal del eje mayor	28.0°	-15.4°	-34.5°	-37.1°	-18.0°	26.1°
Achatamiento	7.2%	14.4%	10.2%	5.1%	8.8%	6.7%
Error promedio de ajuste [m]	85.149	75.443	112.45	143.42	157.202	120.479
Ajuste con curvas circulares						
	LC	API	APC	APE	RF	BI
Radio [km]	17.775	29.514	34.991	41.687	45.631	79.066
<u>Coords. centro [km]</u>	x: 849.376 y: 2343.874	x: 853.401 y: 2355.174	x: 854.766 y: 2355.030	x: 856.426 y: 2356.778	x: 856.813 y: 2354.209	x: 861.687 y: 2358.176
Error promedio de ajuste [m]	93.702	150.902	144.097	149.196	180.026	171.341

Estudios geofísicos y perforaciones en Yucatán – antecedentes y avances

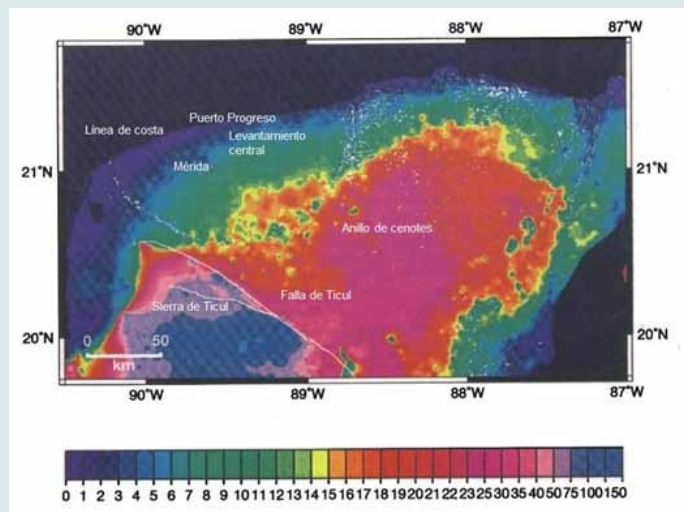
● JAIME URRUTIA FUCUGAUCHI, LIGIA PÉREZ CRUZ
MIGUEL ÁNGEL DIAZ FLORES, CARLOS ORTIZ ALEMÁN
Y GRUPO CHICXULUB

La península de Yucatán se caracteriza por una cubierta de rocas carbonatadas y baja actividad tectónica. El sector norte es un terreno de ambiente de plataforma con estructuras kársticas en un relieve suave y de bajas elevaciones. Las secuencias de rocas carbonatadas de edades del Mesozoico y Cenozoico están depositadas sobre un basamento cristalino-metamórfico de afinidad Pan-Africana, que caracteriza al bloque Yucatán. El golfo de México se formó a partir del rompimiento del supercontinente Pangea y deriva de las masas continentales de Norte y Sud América. El bloque Yucatán se desplazó durante el Jurásico de una posición al norte adyacente al cinturón orogénico Ouachita. Los movimientos tectónicos de subsidencia/levantamiento y los cambios de nivel del mar durante el Cenozoico resultaron en la emergencia de la península. Los estudios de geología estructural y tectónica incluyen análisis regionales con la formación del golfo de México y Mar Caribe, tectónica de placas y deriva continental. El desarrollo y evolución de la plataforma carbonatada, escarpe de Campeche, formación del Golfo, yacimientos de hidrocarburos, impacto Chicxulub y cambios eustáticos y climáticos forman parte de los estudios en el grupo Chicxulub.

Yucatán se caracteriza por terrenos kársticos, con niveles freáticos someros, el acuífero peninsular, flujos de agua subterránea, estructuras de disolución, fracturas y zonas de alteración. La porción norte se caracteriza por la ausencia de ríos y lagos. Se tienen limitados afloramientos de secuencias pre-Cenozoicas, lo que ha sido una limitante para los estudios estratigráficos, que se ha definido de estudios geofísicos, correlaciones de pozos y registros geofísicos. Los estudios realizados dentro de los programas de exploración de Petróleos Mexicanos registraron anomalías gravimétricas y magnéticas en la porción noroeste, las cuales fueron investigadas a través de pozos exploratorios. Éstos documentaron una estructura de grandes dimensiones, correspondiente a un cráter de impacto formado hace 66 millones de años por el impacto de un asteroide de unos 10-15 km de diámetro en la plataforma marina en el sur del golfo de México (Penfield & Camargo, 1981; Hildebrand et al., 1991). El impacto afectó

los sistemas de soporte de vida ocasionando la extinción de alrededor del 76 % de las especies, marcando el límite Cretácico/Paleógeno (Schulte et al., 2010).

El cráter Chicxulub tiene un diámetro de ~200 km y morfología de cráter complejo multianillado. Está cubierto por rocas carbonatadas, con espesores de ~300 a ~1,200 m y no existen afloramientos de la estructura o de los depósitos de rocas fragmentadas y fundidas durante el impacto. El relieve y la geología superficial muestran la influencia de la estructura en el subsuelo, documentada por las correlaciones con el anillo de cenotes, zonas de fracturamiento y depresiones semicirculares (Fig. 1).



● Fig. 1. Modelo digital del terreno en sector norte de la península de Yucatán (adaptado de Connors et al., 1996). La proyección en superficie del cráter Chicxulub correlaciona con el anillo de cenotes (puntos blancos).

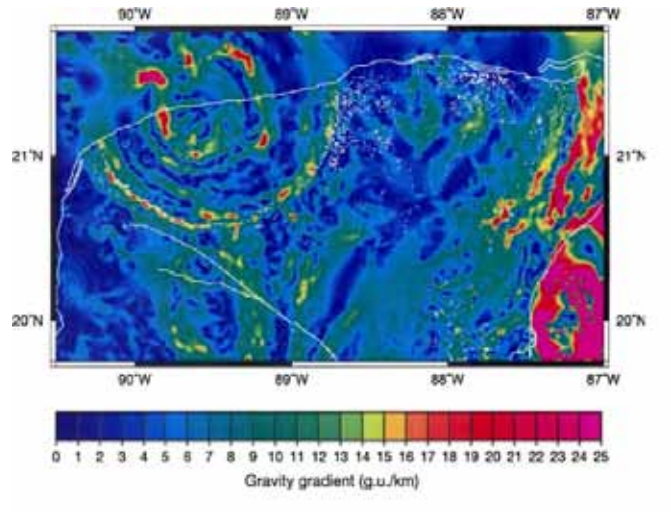
Los rasgos geomorfológicos y estructuras geológicas son estudiadas a partir de la integración de imágenes satelitales, aéreas, estudios geofísicos y geológicos y programas de perforación. La geología superficial, geomorfología, flujo de agua subterránea y procesos tectónicos están asociados con las características del subsuelo y la estructura del cráter Chicxulub. Las características regionales en las imágenes satelitales y de interferometría de radar realizan la topografía, morfología, fallas, fracturas

y karsticidad asociadas al hundimiento/ levantamiento, compactación diferencial de brechas y roca fundida del impacto y las estructuras del borde, anillos, levantamiento central y anillo de picos.

El borde del cráter constituye el límite externo de una cuenca formada por el impacto, caracterizada por las zonas de terrazas y fallas profundas. La mayor densidad de fracturas y de cenotes en Yucatán se localiza en el anillo de cenotes. La distribución de cenotes y patrones de fracturamiento cambia a lo largo del anillo, con el sector noroeste con un alineamiento paralelo al anillo principal.

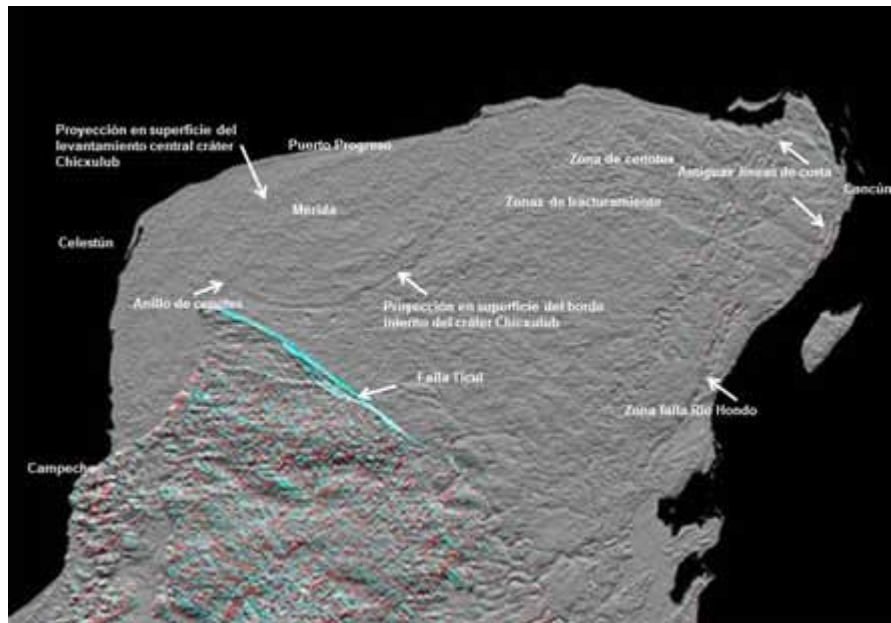
Los programas de exploración incluyen levantamientos gravimétricos, aeromagnéticos, mapeo geológico y perforaciones de pozos. Los pozos exploratorios Chicxulub-1, Sacapuc-1 y Yucatán-6 muestrearon rocas de textura volcánica, correspondiendo a las unidades de impactitas formadas en el impacto. Estudios petrográficos, geoquímicos, radiométricos y magnetoestratigráficos confirmaron el origen por impacto y una edad correspondiendo al límite K/Pg (Penfield & Camargo, 1981; Hildebrand et al., 1991; Sharpton et al., 1992; Urrutia et al., 1994). Programas de perforación subsecuentes incorporaron recuperación continua de núcleos y registros geofísicos, que proporcionaron información sobre la distribución, espesores y características de las unidades de impactitas y la estructura del cráter (Urrutia-Fucugauchi et al., 1996, 2004). Los pozos Santa Elena, Peto y Tekax en el sector sur documentaron las brechas ricas en fragmentos de basamento y roca fundida y las ricas en fragmentos de rocas carbonatadas, con la estratigrafía invertida. El programa de perforaciones además proporciona información sobre la estratigrafía somera. La Comisión Federal de Electricidad y la Comisión Nacional del Agua han llevado a cabo varios programas de perforación somera (CNA, 1997; CONAGUA, 2017).

Los estudios relacionados al impacto y al cráter han continuado y se han intensificado, con estudios de gravimetría, magnetometría, electromagnéticos, eléctricos, sísmica de reflexión y programas de perforaciones (Urrutia et al., 2011, 2014; Morgan et al.,

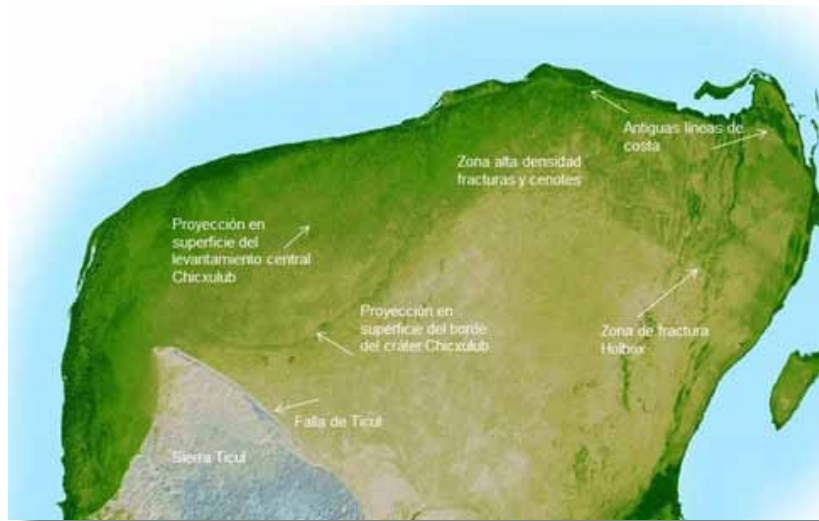


● Fig. 2. Gradiente horizontal de la anomalía de gravedad, mostrando el patrón semicircular concéntrico de las anomalías (tomada de Connors et al., 1996).

2005, 2011; Gulick et al, 2008, 2013; Batista et al., 2013). Los trabajos incluyeron cartografía, estudios geofísicos de gravimetría, reconocimientos geológicos, estudios estructurales y tectónicos, geomorfológicos y un programa de perforaciones. En las imágenes satelitales se aprecian los patrones circulares que marcan el borde sepultado del cráter y los cambios en topografía y morfología en la zona central. En trabajos anteriores, se habían definido el anillo de cenotes y las anomalías geofísicas en la Península de



● Fig. 3. Estructuras y rasgos superficiales en la península de Yucatán, con la proyección en superficie del borde y zona del levantamiento central del cráter Chicxulub, Sierra de Ticul y zona de falla Ticul, antiguas líneas de costa, zonas de fallas Holbox, falla Rio Hondo, identificadas en la imagen de interferometría de radar (fuente: <https://photojournal.jpl.nasa.gov/feature/chicxulub>).



● Fig. 4. Imagen satelital de la zona norte de la península de Yucatán (fuente: <https://photojournal.jpl.nasa.gov/feature/chicxulub>). En la imagen se ilumina el relieve topográfico, para resaltar rasgos geomorfológicos.

Yucatán (Penfield & Camargo, 1981; Hildebrand et al., 1991, 1998; Connors et al., 1996; Pope et al., 1996).

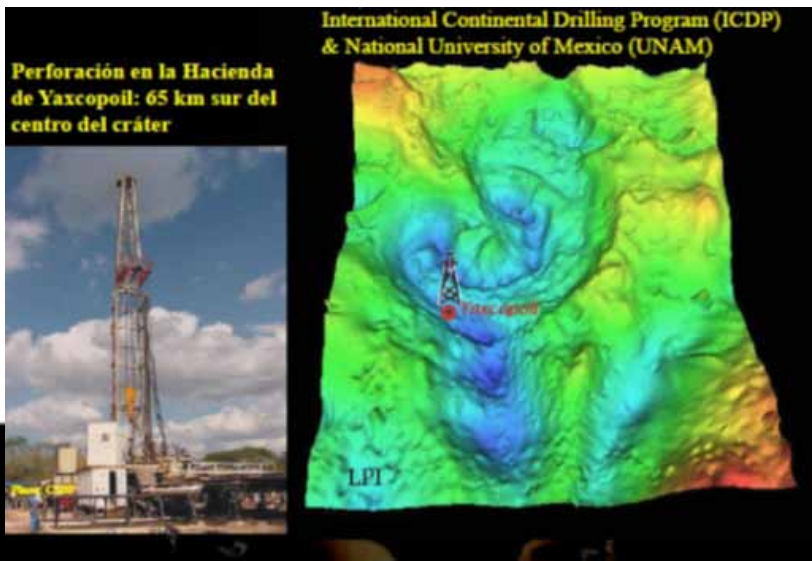
La información y datos sobre la geología, geomorfología, estratigrafía, tectónica, geoquímica, geohidrología, edafología y geofísica de la península presenta diferentes enfoques, resolución y niveles de detalle. Los estudios de geohidrología incluyen investigaciones sobre geología superficial, acuífero, intrusión marina, flujos regionales y locales y variables hidrometeorológicas forman una parte de la documentación geológica-geofísica, en la que se tiene participación de instituciones gubernamentales, sector privado e instituciones académicas. Los estudios permiten caracterización de los flujos de agua subterránea, recarga acuíferos, contaminación y desarrollo kárstico (SARH, 1989; Perry et al., 2009; Gondwe et al., 2012; Conagua, 2017).

Los cambios estacionales producen cambios en la cubierta vegetal, particularmente entre las estaciones de secas y de lluvia. Los análisis de imágenes satelitales y fotografías aéreas en diferentes meses durante el año permiten contar con información muy significativa para la identificación y el mapeo de las estructuras kársticas.

Las anomalías gravimétricas muestran patrones semicirculares concéntricos, relacionados con la estructura interna del cráter de impacto de Chicxulub. Las anomalías aeromagnéticas en la zona de estudio forman tres patrones concéntricos bien definidos, con una zona central de 40 km de diámetro que incluye un conjunto de anomalías de gran amplitud. Como se menciona a lo largo del informe, las principales anomalías magnéticas se relacionan con la presencia de una capa de rocas fundidas, una zona de brechas y un levantamiento central, que muestran contrastes magnéticos que difieren en 3 o 4 órdenes de magnitud con respecto a las unidades de carbonatos circundantes. Ortiz-Alemán & Urrutia-Fucugauchi (2010) presentan un análisis de las anomalías magnéticas y relaciones con los rasgos estructurales del levantamiento central, unidades de brechas (material fragmentado) y roca fundida. La ciudad de Mérida se localiza en el borde suroeste de la zona de anomalía de alta amplitud, sobre el borde del levantamiento central.



● Fig. 5. Características estructurales de fallamiento y fracturamiento superficial graficadas sobre la imagen satelital (fuente: <https://photojournal.jpl.nasa.gov/feature/chicxulub>).



● Fig. 6. Programa de Perforaciones Científicas de Chicxulub



● Fig. 7. Vistas de las torres de perforación y de las operaciones en el proyecto de perforaciones Chicxulub con el pozo Yaxcopoil-1.

Pozo Exploratorio Yaxcopoil-1 - Cráter Chicxulub



● Fig. 8. Ejemplos de los núcleos de perforación del Programa de Perforaciones científicas. Muestras de las litologías de impacto y secuencias deformadas se presentan en las exhibiciones por vez primera. Vistas de los núcleos del pozo Yaxcopoil-1

Bibliografía

- Batista J, Pérez Flores MA, Urrutia Fucugauchi J 2013. Three-dimensional gravity modeling of Chicxulub Crater structure, constrained with marine seismic data and land boreholes. *Earth Planets Space*, 65: 973-983.
- CNA (Comisión Nacional del Agua) 1997 Diagnóstico de la Región XII. Península de Yucatán [Diagnosis of Region XII. Yucatan Peninsula]. Comisión Nacional del Agua. Subdirección General de Programación. Gerencia de Planeación Hidráulica. Gerencia Regional de la Península de Yucatán. Subgerencia de Programación. México, DF.
- Collins GS, Morgan J, Barton P, Christeson GL, Gulick S, Urrutia Fucugauchi J, Warner M, Wünnemann K 2008. Dynamic modeling suggests terrace zone asymmetry in the Chicxulub crater is caused by target heterogeneity. *Earth Planet. Sci. Lett.*, doi: 10.1016/j.epsl.2008.03.032.
- CONAGUA 2017. Comisión Nacional del Agua, Servicio Meteorológico Nacional, México.
- Connors M, Hildebrand AR, Pilkington M, Ortiz Alemán C, Chávez RE, Urrutia Fucugauchi J, Graniel Castro E, Cámara Zi A, Vásquez J, Halpenny JF 1996. Yucatán karst features and the size of Chicxulub crater. *Geophysical Journal International*, 127 (3): F11-F14.
- Delgado Rodríguez O, Campos Enríquez JO, Urrutia Fucugauchi J, Arzate JA 2001. Occam and Bostick 1-D inversion of magnetotelluric soundings in the Chicxulub impact crater, Yucatan, Mexico. *Geofísica Internacional*, 40: 271-283.
- Gondwe BRN, Ottowitz D, Supper R, Motschka K, Merediz Alonso G, Bauer Gottwein P 2012. Regional-scale airborne electromagnetic surveying of the Yucatan karst aquifer (Mexico): geological and hydrogeological interpretation. *Hydrogeology Journal*, 20 (7): 1407-1425, doi 10.1007/s10040-012-0877-8.
- Gulick S, Barton P, Christeson G, Morgan J, MacDonald M, Mendoza K, Urrutia Fucugauchi J, Vermeesch P, Warner M 2008. Importance of pre-impact crustal structure for the asymmetry of the Chicxulub impact crater. *Nature Geoscience*, 1: 131-135.
- Gulick SPS, Christeson GL, Barton PJ, Grieve R, Morgan J, Urrutia Fucugauchi J 2013. Geophysical characterization of the Chicxulub impact crater. *Reviews Geophysics*, 51: 31-52, DOI: 10.1002/rog.20007.
- Hildebrand AR, Penfield GT, Kring DA, Pilkington M, Camargo Zanoquera A, Jacobsen SB, Boynton WV 1991. Chicxulub Crater: A possible Cretaceous/Tertiary boundary impact crater on the Yucatan Peninsula, Mexico. *Geology*, 19: 867-871.
- Hildebrand A et al. 1998. Mapping Chicxulub crater structure with gravity and seismic data. *Meteorites: Flux with Time and Impact Effects*, Grady, R. et al. (Eds.), *Geol. Soc. Sp. Publ.*, 140: 155-176.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática), Conjunto de datos vectoriales escala 1:50,000, 58 files, INEGI, México.
- López Ramos E 1975. Geological summary of the Yucatan peninsula. In: *The Ocean Basins and Margins*, 3, The Gulf of Mexico and the Caribbean, A.E.M. Nairn and F.G. Stehli, Eds., Plenum, New York, 257-282.
- López Ramos E 1983. *Geología de México (3a. edición)*: México, Universidad Nacional Autónoma de México, 269-301.
- Lugo Hubp JI, García MT 1999. El relieve de la península de Yucatán, in García de Fuentes A, Córdoba J, Ponce Ch, eds., *Atlas de Procesos Territoriales del Estado de Yucatán*, Facultad Arquitectura, Universidad Autónoma de Yucatán, 155-162.
- Morgan JV, Warner M, Urrutia Fucugauchi J, Gulick S, Christeson G, Barton P, Rebolledo, M 2005. Chicxulub crater seismic survey prepares way for future drilling. *EOS:Transactions of the American Geophysical Union*, 86: 325-332.
- Morgan JV, Gulick SPS, Bralower T, Chenot E, Christeson G, Claeyes P, et al. 2016. The formation of peak rings in large impact craters. *Science*, 354: 878-882, DOI: 10.1126/science.aah6561.
- Morgan J, Gulick S, Mellett CL, Green SL and the Expedition 364 Scientists 2017. *Chicxulub: Drilling the K-Pg Impact Crater*. Proceedings of the International Ocean Discovery Program, 364: College Station, TX (International Ocean Discovery Program) <https://doi.org/10.14379/iodp.proc.364.2017>.
- NASA/JPL, 2000. Shaded Relief with Height as Color, Yucatan Peninsula, Mexico, from Mission Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), resolution about 30 meters or 98 feet, <http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA03379>
- Ortiz Alemán C, Urrutia Fucugauchi J, 2010. Aeromagnetic anomaly modeling of central zone structure and magnetic sources in the Chicxulub crater. *Phys. Earth Planet. Int.*, 179: 127-138, doi:10.1016/j.pepi.2010.01.007.
- Penfield GT, Camargo Zanoquera A 1981. Definition of a major igneous zone in the central Yucatán platform with aeromagnetics and gravity, en *Technical Program. Abstracts, 51st Annual Meeting*, p.37, Soc. Expl. Geophys., Tulsa, Oklahoma.

- Perry E, Paytan A, Pedersen B, Velázquez Oliman G 2009. Groundwater geochemistry of the Yucatan Peninsula, Mexico: constraints on stratigraphy and hydrogeology. *Journal of Hydrology*, 367 (1-2): 27-40. doi: 10.1016/j.jhydrol.2008.12.026.
- Pilkington M, Hildebrand AR 2000. Three-dimensional magnetic imaging of the Chicxulub crater. *J. Geophys. Res.*, 105: 23479-23491.
- Pope KO, Ocampo AC, Kinsland GL, Smith R 1996. Surface expression of the Chicxulub crater. *Geology*, 24(6): 527-30.
- SARH 1989. Sinópsis Geohidrológica del Estado de Yucatán. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Subsecretaría de Infraestructura Hidráulica. Dirección General de Administración y Control de Sistemas Hidrológicos, Mexico, DF
- Schulte P et al. 2010. The Chicxulub asteroid impact and mass extinction at the Cretaceous-Paleogene boundary. *Science* 327: 214-1218.
- Sharpton VL, Dalrymple G, Marín L, Ryder G, Schuraytz B, Urrutia Fucugauchi J 1992. New links between the Chicxulub impact structure and the Cretaceous/Tertiary boundary. *Nature*, 359: 819-821.
- Sharpton VL et al. 1993. Chicxulub multiring impact basin: Size and other characteristics derived from gravity analysis. *Science*, 261: 1564-1567.
- Urrutia Fucugauchi J, Pérez Cruz L 2011. Buried impact basins, the evolution of planetary surfaces and the Chicxulub multi-ring crater. *Geology Today*, 27: 222-227.
- Urrutia Fucugauchi J, Morgan J, Stoeffler D, Claeys P 2004. The Chicxulub scientific drilling project (CSDP). *Meteorit. Planet. Sci.*, 39: 787-790.
- Urrutia Fucugauchi J, Chávez JM, Pérez Cruz L, de la Rosa JL 2008. Impact ejecta and carbonate sequence in the eastern sector of Chicxulub Crater. *Comptes Rendus Geosciences*, 340: 801-810 doi:10.1016 /j.crte.2008.09.001.
- Urrutia Fucugauchi J, Camargo Zanoquera A, Pérez Cruz L, Pérez Cruz G 2011. The Chicxulub multiring impact crater, Yucatan carbonate platform, Mexico. *Geofis Int*, 50: 99-127.
- Urrutia Fucugauchi J, Camargo Zanoquera A. Pérez Cruz L 2011. Discovery and focused study of the Chicxulub impact crater. *EOS (Trans. American Geophysical Union)*, 92 (25): 209-210.
- Urrutia Fucugauchi J, Pérez Cruz L, Campos SE, Escobar JE, Velasco Villarreal M 2014. Magnetic susceptibility logging of Chicxulub proximal impact breccias in the Santa Elena borehole - Implications for emplacement mode. *Studia Geophysica et Geodaetica*, 58: 100-120.
- Vermeesch PM, Morgan JV, Christeson GL, Barton PJ, Surendra A 2009. Three-dimensional joint inversion of travel and gravity data across the Chicxulub impact crater. *Journal of Geophysical Research*, 114: B02105.
- Weidie A 1985. Geology of Yucatan platform, En: Ward W, Weidie A, Back W, (Eds.), *Geology and hydrogeology of the Yucatan and Quaternary geology of northeastern Yucatan Peninsula*. The New Orleans Geological Society, 1-19.

Retos y oportunidades del sector energético

● FRANCISCO BARNÉS DE CASTRO

El pasado jueves 19 de agosto de 2021 se llevó a cabo de forma virtual el Foro de la Fundación UNAM, La nueva realidad tras la pandemia: retos y perspectivas, donde el Dr. Francisco Barnés de Castro presentó la conferencia magistral titulada, Retos y oportunidades del sector energético, donde destacó la importancia de reactivar la economía en México tras la desfavorable situación de pobreza intensificada por la pandemia y las limitaciones del país para hacerle frente, lo que representa un reto mayor que se logrará superar mediante la incorporación de inversiones pública y privada en el sector energético nacional.

La política energética nacional requiere una atención inmediata para lograr un avance significativo, lograr ser atractiva y competitiva a nivel internacional para incentivar la inversión en el país, dentro de las medidas prioritarias Barnés de Castro enfatiza el impulso al uso eficiente de la energía, tanto en Petróleos Mexicanos (PEMEX) como en la Comisión Federal de electricidad (CFE) donde se requiere una actualización en sus plantas y procedimientos, ampliar su producción explorando aguas profundas en yacimientos no convencionales y maduros, y modernizar el sistema nacional de refinación.

El aprovechamiento de las reservas de gas natural del país traerá como consecuencia la independencia en el abastecimiento nacional el cual será clave para el cambio, enfatizando el uso de energías limpias renovables provenientes del sol, viento, agua y geotermia al igual que la promoción del transporte eléctrico, que beneficiará la reducción del impacto a la salud y al medio ambiente.



● Fuente: https://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2021_710.html

Thiophene trends in sediments of two impact craters: Chicxulub and Gale. Implications to surface environmental conditions

The recent detection of in situ Martian organic carbon by the SAM instrument onboard the Curiosity rover has confirmed both a novel organic carbon cycle on another planet, as well as opened new opportunities for the correlation of planetary conditions and processes between Earth and Mars. Recently, thiophenes were identified by the Curiosity rover as preserved in 3 billion year old mudstones formed in a lacustrine environment at one of the lowest topographic and stratigraphic points in Gale crater. The presence of these thiophenes suggests that sulfurization aided organic matter preservation in this ancient Martian lacustrine environment. In fact, thiophenes have also been identified in kerogen, microfossils and stromatolites from the oldest sedimentary rocks on Earth as well as in the most pristine objects of the Solar System, e.g., carbonaceous chondrites. Their formation could provide clues to the organic productivity potential in aqueous environments and contributes to the formation of kerogens in sediments. We report here the detection of thiophenes in sedimentary rocks from the Yaxcopoil-1 drill hole in the Chicxulub impact structure in the southern Gulf of Mexico. Selected samples of this drillhole collected at ~30 m intervals from 404 m to 1511 m were pyrolyzed to 1200°C for 60 s and the gases and volatiles released were analyzed by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). The concentration of thiophenes in the sedimentary record varied with ocean surface temperature, and is interpreted to reflect the organic productivity in the Paleo-Gulf of Mexico. These results are compared to the stratigraphic variation of thiophenes in the lacustrine sediments explored by Curiosity from the Yellowknife Bay formation, corresponding to the oldest sediments, to target Highfield at the Vera Rubin ridge, representing the youngest sediments encountered by Curiosity until Sol 2224. Fourteen mudstones and sandstones were analyzed by evolved gas analysis by the SAM quadrupole mass spectrometer during thermal treatment of the rock powder samples under reduced pressure to -870°C using electron impact at 70 eV. The mass-to-charge fragment (m/z) 84 was used to assess for the presence of thiophene in the samples. Contrary to Chicxulub, we found irregular variations in the concentration of thiophene of up to one order of magnitude along the stratigraphic column. The SAM data collected so far does not allow us to discriminate whether thiophenes were: 1) Abiotically synthesized by endogenous sources; 2) Exogenously delivered by meteorites; or 3) Biotically produced. If we use the thiophene patterns for Chicxulub, these fluctuations could imply warming/cooling phases of the paleolake system that led to different abiotic rates of synthesis/solubility of the organics that were supplied to the lake resulting in different organic productivity potentials at Gale crater.

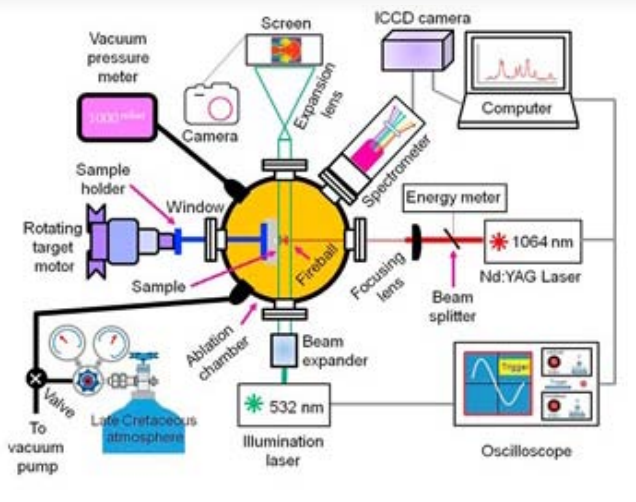
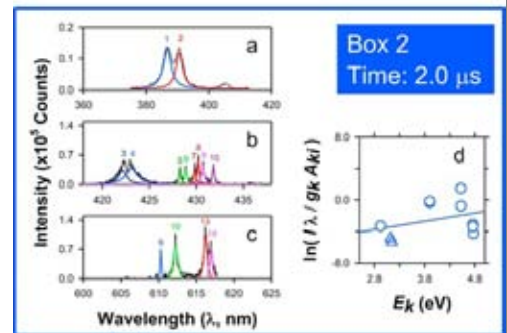
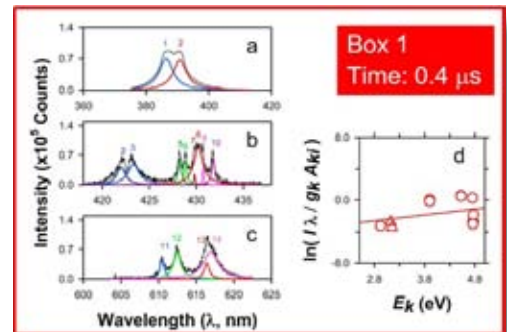
Acknowledgments

We acknowledge support from the Universidad Nacional Autónoma de México (PAPIIT IN111619 and PAPIIME PE102319), the Centre National d'Études Spatiales, and the NASA Mars Science Laboratory Program.

Navarro González R, Buch A, Navarro, K F, McKay C P, Coll P, Freissinet C, Mahaffy P, Zorzano MP, Eigenbrode, J, Szopa C, Martin Torres J, Urrutia Fucugauchi J, Williams A, Pérez Cruz L, Malespin C 2021. Thiophene trends in sediments of two impact craters: Chicxulub and Gale. Implications to surface environmental conditions, 43rd COSPAR Scientific Assembly, 43: 1941, <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2021cosp...43E1941N>

Physical characterization of a simulated impact-vapor plume using laser ablation of Chicxulub sediments

An asteroid impacted the Yucatan carbonate platform in the Southern Gulf of Mexico about 66 million years ago. The ejecta and impact-vapor plume introduced massive amounts of gases and dust into the atmosphere causing major global environmental effects that led to the Cretaceous-Paleogene mass extinction. The physical parameters of the ChicXulub impact-vapor plume are not completely known and are important to constrain its evolution and the aftermath of the event. Here we reconstruct the impact-vapor plume by laser ablation of target sediments recovered from the Yaxcopoil-1 borehole in the ChicXulub impact crater. The ablation experiment was performed under a reconstructed late Cretaceous atmosphere composed of 0.16% CO₂, 30% O₂, and 69.84% N₂ at 1000 mbar. The initial propagation velocities of the shockwave and impact-vapor plume were ~4.5 km s⁻¹ and ~2.3 km s⁻¹, respectively. The temperature and electron density of a simulated ChicXulub impact-vapor plume were determined using calcium emission lines. The initial temperature and electron density were estimated to be $-1.8(\pm 0.1) \times 10^4$ K and $-5.9(\pm 0.7) \times 10^{17}$ cm⁻³, respectively. The plume expanded adiabatically with a specific heat ratio of 1.31 ± 0.03 . Its initial pressure was computed to be ~103 bar. These parameters are required in gasdynamic codes to develop chemical models to study the evolution of the simulated impact-vapor plume and predict the fluxes and nature of gases, vapors and mineral phases injected in the atmosphere. Such chemical models will allow scaling from laboratory to planetary conditions to better constrain the chemical effects to the environment and the biosphere by the asteroid impact.



Navarro KF, Urrutia Fucugauchi J, Villagrán Muniz M, Sánchez Aké C, Pérez Cruz L, Navarro González R 2021. Physical characterization of a simulated impact-vapor plume using laser ablation of ChicXulub sediments. *Planetary and Space Science*, 206: 105311, <https://doi.org/10.1016/j.pss.2021.105311>

Chicxulub museum, geosciences in Mexico, outreach and science communication – built from the crater up

The Chicxulub science museum is special, in that it is built around an event in geological time representing a turning point in the planet's history and which brings together the Earth system components. Studies on the Chicxulub impact, mass extinction and Cretaceous–Paleogene boundary provide an engaging context for effective geoscience communication, outreach and education. The museum is part of a research complex in Yucatán Science and Technology Park in Mexico. Natural history museums with research components allow for the integration of up-to-date advances, expanding their usefulness and capabilities. The impact ranks among the major single events shaping Earth's history, triggering global climatic change and wiping out ~76% of species. The ~200 km Chicxulub crater is the best preserved of three large terrestrial multi-ring impact structures, being a natural laboratory for investigating impact dynamics, crater formation and planetary evolution. The initiative builds on the interest that this geological site has for visitors, scholars and students by developing wide-reaching projects, a collaboration network and academic activities. The Chicxulub complex serves as a hub for multi- and interdisciplinary projects on the Earth and planetary sciences, climate change and life evolution, fulfilling a recognized task for communication of geosciences. After decades of studies, the Chicxulub impact remains under intense scrutiny, and this programme with the core facilities built inside the crater will be a major player.



Urrutia Fucugauchi J, Perez cruz L, Urrutia Odabachain A 2021. Chicxulub museum, geosciences in Mexico, outreach and science communication - built from the crater up. *Geoscience Communication*, 2(4): 267-280, doi.org/10.5194/gc-4-267-2021

Aumento en la resolución temporal de la imagen sísmica reduciendo el efecto de stretching en la traza

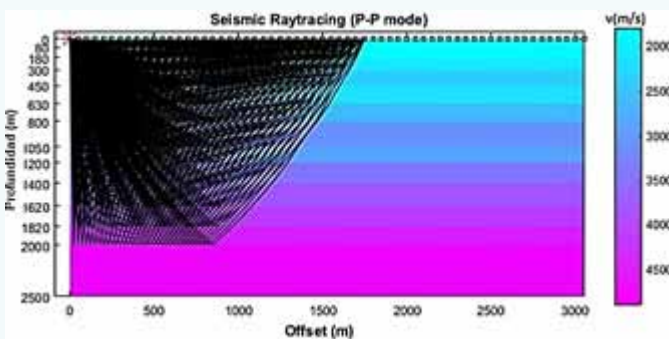
● **PEDRO PABLO CORTÉS GUERRERO**
DR. CARLOS ORTIZ ALEMAN
 Director de tesis

La corrección NMO es una parte crucial en las secuencias de procesamiento de datos sísmicos, ya sea para adquisiciones convencionales o para nuevas técnicas como el wide-azimuth o adquisiciones de offsets largos. Tales técnicas han ido incrementando con el fin de resolver mejor los objetivos de exploración. La corrección NMO es rutinariamente aplicada a trazas reorganizadas en gathers en coordenadas de CMP para posteriormente generar secciones apiladas de alta resolución manteniendo la fidelidad de los datos en offsets largos, procurando un efecto favorable para procesos sísmicos especiales posteriores, tales como los análisis AVO e inversión sísmica de propiedades elásticas.

La corrección convencional NMO ejecutada muestra por muestra al gather genera un ya conocido resultado de pérdida de frecuencias altas y una distorsión en las amplitudes causadas principalmente por el fenómeno del stretch o alargamiento de la ondícula en la traza sísmica. En la corrección convencional de movimiento normal (NMO) zonas de los datos registrados en gathers en offset largo se descartan por medio del mute debido a las distorsiones generadas por la corrección NMO principalmente en reflectores someros. Las distorsiones que producen una desviación del verdadero tiempo de viaje de reflexión son debidas a la anisotropía y heterogeneidad de la tierra, esto genera que la corrección convencional NMO produzca stretch como un resultado natural de la convergencia de las trayectorias de las muestras dentro de la ondícula de reflexión, tenido su mayor efecto en

gathers donde haya cruce de hipérbolas de reflexión, aparte que la corrección NMO no aplana correctamente los eventos no hiperbólicos también generados.

La manera de reducir las distorsiones generadas es mediante el uso de aproximaciones no hiperbólicas para la corrección de los tiempos de viaje que se realizan a través de una corrección del tiempo de viaje hiperbólico desplazado. Estas ecuaciones han sido extensivamente usadas para aplicaciones sísmicas aproximando los tiempos de viaje de reflexiones en medios de múltiples capas con heterogeneidad vertical o medios VTI. Esto combinado con un método de mapeo priorizado sucesivo de recuperación de amplitudes lograra eliminar el efecto del stretch en gathers sin intersección y con intersección de eventos de reflexión y conjuntamente corregir eventos no hiperbólicos.

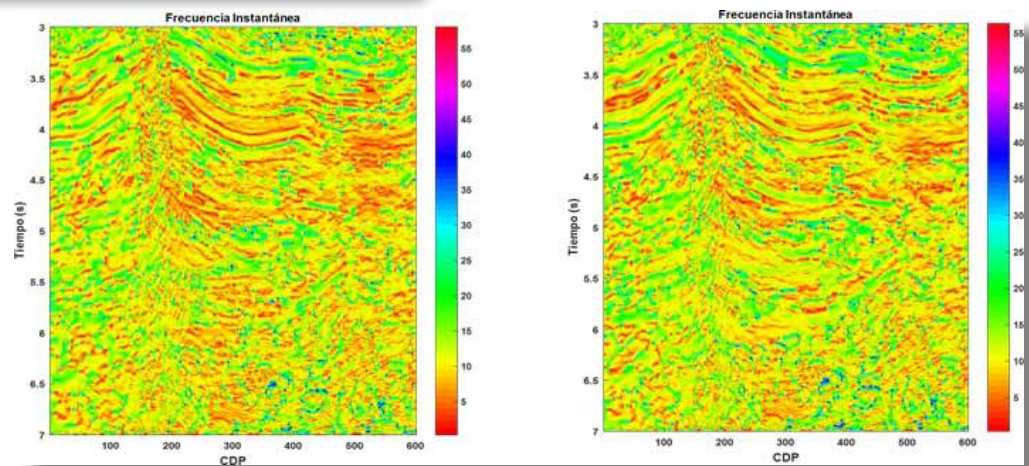
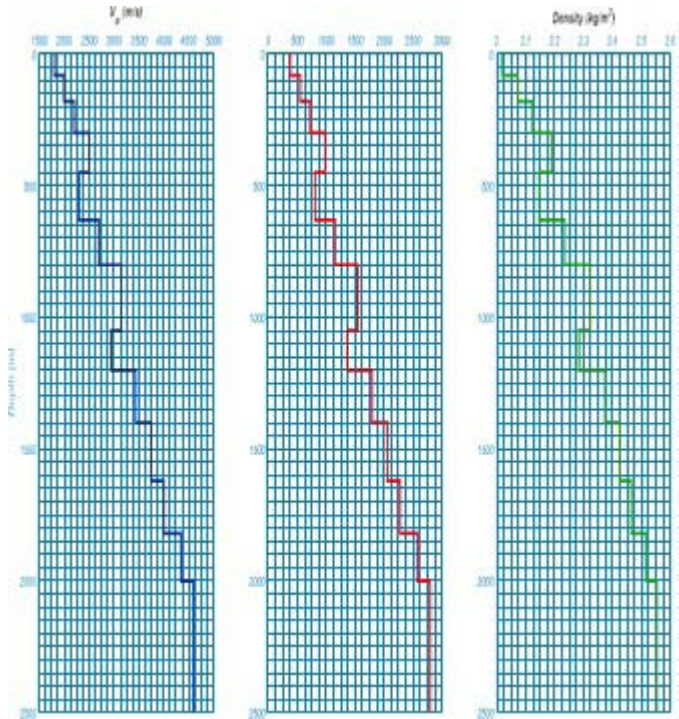
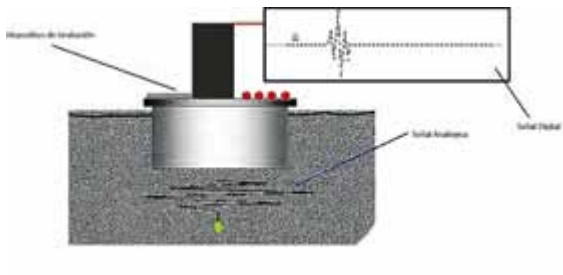


A partir de una investigación exhaustiva de diferentes técnicas desarrolladas en los últimos años para la eliminación del stretch en la traza, se propone el uso de la técnica de (Abedi y Riahi, 2016), debido a la efectividad que tiene para la eliminación del stretch en presencia de intersección de hipérbolas de reflexión y en adquisiciones de offset largo. Además de la capacidad que tiene en la recuperación de las amplitudes sin afectar la relatividad de estas durante el proceso.

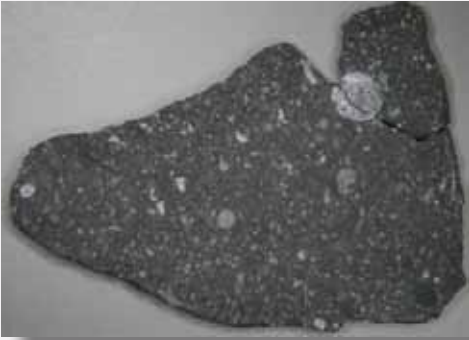
Con esto es posible implementar una metodología para el acondicionamiento de datos sísmicos mostrada en esta tesis que aporta un procesamiento del dato sísmico más riguroso necesario para la caracterización de yacimientos. Hago ver la mejora de esta metodología eliminando los fenómenos sísmicos no deseados antes del apilamiento, cuantificando en tres puntos principales: 1) aumento de la relación señal ruido S/R,

2) la compensación de la pérdida de frecuencia con el offset causada por el NMO stretch o estiramiento de la ondícula, y 3) el aplanamiento del gather. Esto se prueba en datos sintéticos y en un set de datos reales reorganizados en CMP migrados en tiempo, donde se puede ver que la metodología puede ser adoptada dentro de la industria oil & gas.

Se genera también una contribución al entendimiento del fenómeno del NMO stretch a través de: análisis de las causas que generan el stretch con y sin intersección de hipérbolas de reflexión y los eventos no hiperbólicos asociados, se hace una comparación de resultados usando controles de calidad como los análisis de frecuencias, análisis numéricos y analíticos, análisis de amplitudes relativas con figuras originales en detalle mostrando diferentes perspectivas del problema que muestran las causas y funcionamiento del fenómeno del NMO stretch.



Cortés Guerrero PP 2021. Aumento en la resolución temporal de la imagen sísmica reduciendo el efecto de stretching en la traza. Tesis Maestría, Programa de Posgrado en Ciencias de la Tierra, Instituto de Geofísica, UNAM, 56 pp.



Estudio del meteorito condrítico Allende

● DIANA PALOMA DÍAZ PÉREZ

Tesis

En este trabajo se presentan los resultados de un estudio del meteorito Allende.

El meteorito Allende cayó en la zona del poblado de Allende en Chihuahua en febrero de 1969 y es del grupo de condritas carbonáceas, caracterizadas por edades radiométricas correspondientes a la formación del sistema planetario. El estudio incluye análisis de la distribución y frecuencia de cóndrulos y de propiedades físicas y químicas de cóndrulos, inclusiones de calcio-aluminio (Cal) y matriz mediante técnicas de microscopía electrónica, fluorescencia de rayos X, petrografía.

Se realizó un análisis de tamaños y distribución de los cóndrulos del meteorito Allende analizando una pieza plana de aproximadamente 70 cm² de área y en una película de aproximadamente 25 cm² de área. También en estas piezas se realizó un análisis de las distancias promedio entre los centros de los cóndrulos. En ambos tipos de análisis se realizaron histogramas que mostraron asimetría con desviación hacia la izquierda. El valor promedio para los radios de los cóndrulos en ambas caras de la pieza y en la película analizada es de 520.37 μ m. El promedio de las distancias entre los centros de los cóndrulos es de 3.176 cm para las dos caras de la pieza analizada y de 2.167 cm para la película.

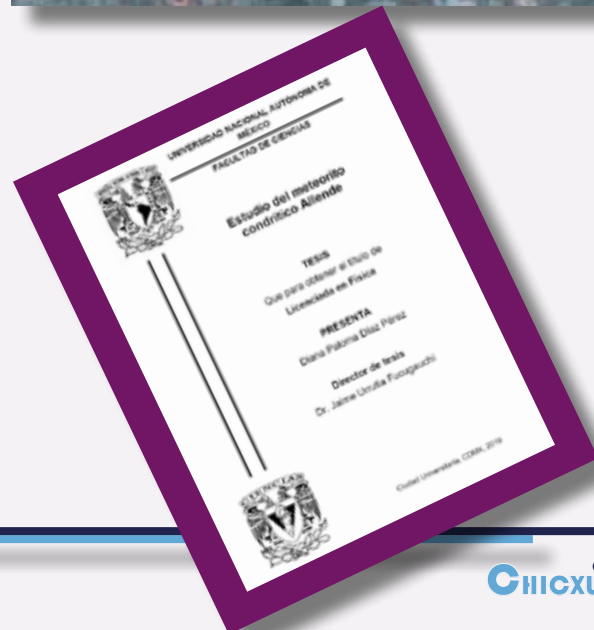
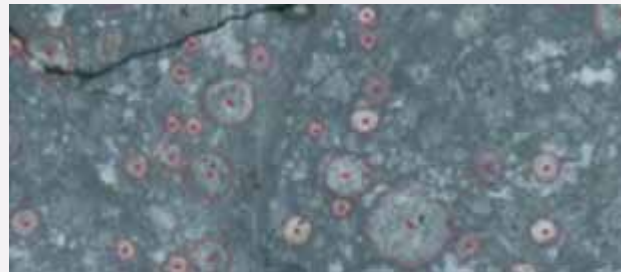
Se realizó el análisis elemental de la pieza mediante fluorescencia de rayos X en 72 puntos al azar en la cara frontal de la pieza y se encontró que los puntos se dividían en dos grupos de acuerdo a su composición química, el primer grupo se caracterizaba por tener una composición de alrededor del 82% de hierro mientras que el segundo grupo mostró una composición con cantidades similares entre hierro (25%), magnesio (21%), cloro (20%) y silicio (16%).

Se realizó el análisis de una inclusión de gran tamaño de la pieza y se encontró en la sección frontal de la pieza del meteorito Allende analizada, en la que resalta una inclusión rica en calcio y aluminio de gran tamaño. Se realizaron análisis de la superficie de la pieza mediante microscopía electrónica. Se encontró que su interfaz muestra una textura similar de flujo y el interior de la inclusión muestra diferentes tonalidades de gris y la composición elemental de un punto a otro varía notablemente.

Se realizó un análisis de la pieza del meteorito mediante microscopio electrónico y se encontraron resultados interesantes como cóndrulos con fragmentos de inclusiones de calcio y aluminio en su interior. También se observó un sistema de cóndrulos en el que se observó el crecimiento anidado de tres cóndrulos.

Asimismo, se realizó un análisis de las texturas de los cóndrulos mediante el análisis con microscopio electrónico de una muestra pulida del meteorito. Se observan cóndrulos con diferentes texturas, algunos con corteza y otros sin corteza, algunos con formas regulares y otros con contornos irregulares.

Por último, se realizó un análisis con mayor resolución del meteorito mediante microscopía electrónica. Se observó la textura de zonas del meteorito con una resolución de unas decenas de micrómetros a diferencia del análisis anterior mencionado en que se pudieron observar imágenes de uno o más cóndrulos completos, en este estudio se analizaron zonas muy pequeñas. Las texturas observadas son completamente diferentes a las observadas en los análisis antes mencionados. También se realizó microanálisis y se observó una composición variada de un punto a otro en una misma zona.



UNAM, preparada para hacer mapeo del fondo marino



● Imagen: www.fundacionunam.org.mx

● Fuente: <https://www.gaceta.unam.mx/unam-preparada-para-hacer-mapeo-del-fondo-marino/>

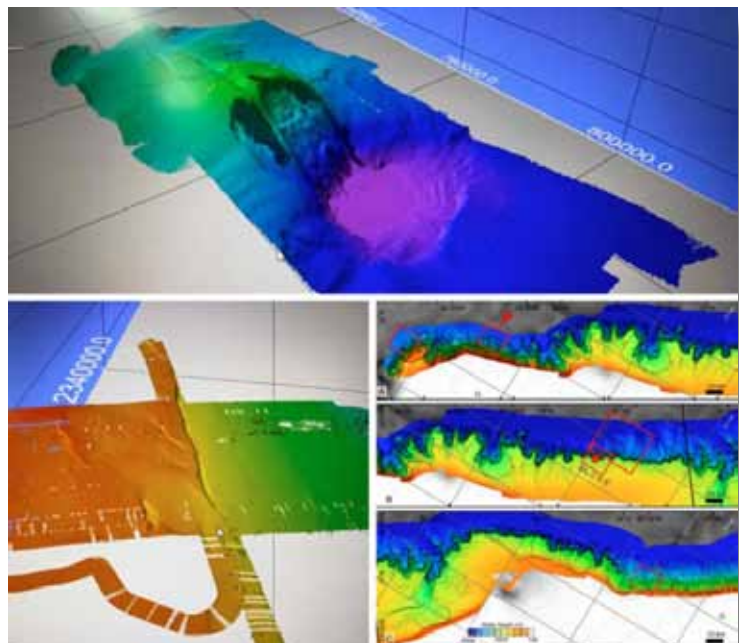
El buque oceanográfico de la UNAM Justo Sierra será el encargado de llevar a cabo los mapeos del fondo marino, importante proyecto internacional que dará cumplimiento a los objetivos de la Década Internacional de las Ciencias del Océano para el Desarrollo Sostenible 2021-2030 de la UNESCO. En colaboración con varios países el objetivo es hacer una cartografía de los mares y océanos del mundo.

El Justo Sierra cuenta con sistemas hidroacústicos multihaz, infraestructura y tecnología necesaria para hacer el mapeo a través de levantamientos batimétricos de alta resolución y elaboración de mapas detallados. De igual forma el buque El Puma cuenta con sistemas multihaz y se pretende actualizar su instrumentación a partir del año 2022.

Para la preparación de este importante proyecto técnicos académicos de la UNAM y personal de la tripulación del Justo Sierra y El Puma tomaron un curso teórico en línea y presencial a bordo del Justo Sierra relacionado a la operación de los sistemas hidroacústicos de los buques oceanográficos impartido por Kongsberg Maritime de México.

Ligia Pérez Cruz, titular de la coordinación de Plataformas Oceanográficas (COPO) de

la UNAM explicó que el proyecto consiste en obtener un conocimiento a detalle del relieve, morfología y características del fondo marino con la intención de aprovechar al máximo el potencial de los recursos pesqueros y energéticos de cada región, su correcta exploración, cuidado del medio ambiente y el intercambio de datos y observaciones con las comunidades nacional e internacional.



● Imagen: <https://www.gaceta.unam.mx/unam-preparada-para-hacer-mapeo-del-fondo-marino/>

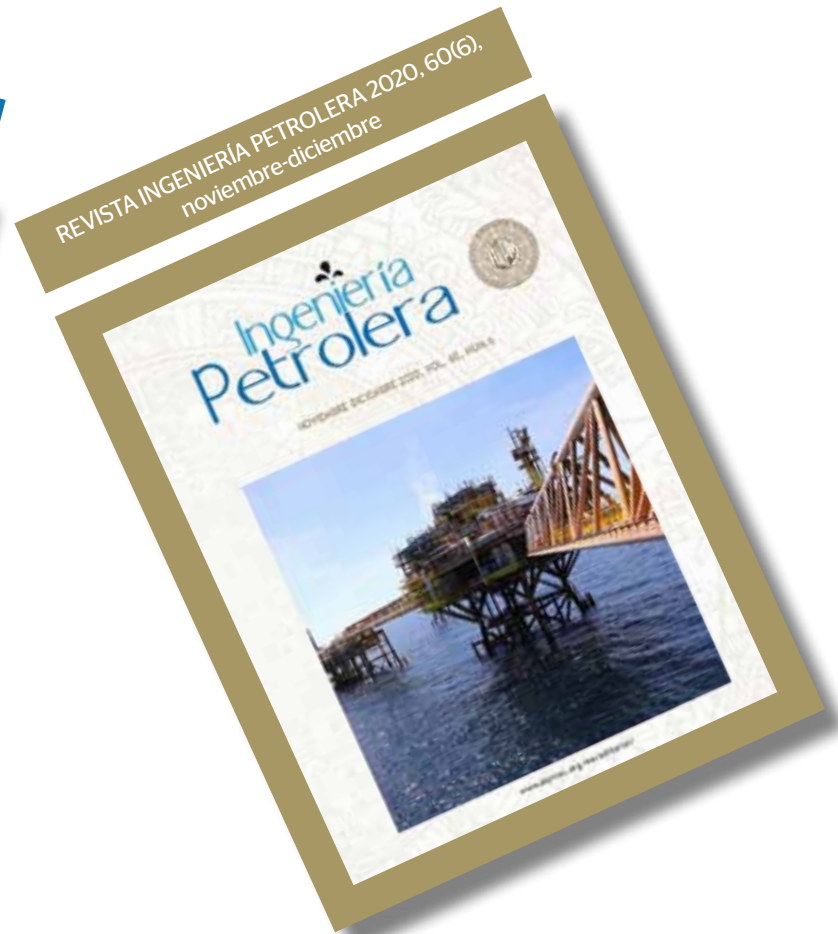


Revista Ingeniería Petrolera

Asociación de Ingenieros Petroleros de México, A. C

<https://www.aipmac.org.mx/>

Noticias



Aplicación de la resonancia magnética nuclear de bajo campo para estudiar la interacción entre un petróleo pesado colombiano y un solvente líquido
María Isabel Sandoval Martínez,
Samuel Fernando Muñoz Navarro

Uso de inteligencia artificial en la distribución de facies elásticas relacionadas a la secuencia de compactación en los yacimientos clásicos de la formación de Chicontepec
Gioconda J. Montilla, T Rubén Charles,
Cintya Galicia A. Abelardo Escamilla, Felipe Lavariega

Nueva metodología de caracterización de yacimientos usando interpretación petro-elástica
Humberto Samuel Arévalo,
López Jack P. Dvorkin

Curvas de creaming, un método para estimar el potencial remanente de petróleo no descubierto, con base en los resultados históricos de la exploración de las cuencas petroleras de México
Jorge Huescani Jiménez, Bernal Ulises Hernández,
Romano Arturo Escamilla Herrera

Evaluación dinámica de la inyección de gas caliente como sistema artificial, a través del incremento de temperatura de descarga de los motocompresores instalados a boca de pozo y su efecto en el comportamiento de producción
Iván Velázquez Ramírez, Martín Viveros Valencia
Erick Ángeles Rosas

Tecnologías multidisciplinares viables para reemplazar al fracturamiento hidráulico, (fracking)
Javier Ballinas Navarro

Application of hybrid fracturing treatment in sandstone formations with high content of carbonate and mixed layers using acid and proppant
Alejandro Javier Flores Nery, Eber Medina del Ángel
Katya Campos Monroy

Artículos publicados durante el año 2020

<https://www.aipmac.org.mx/editorial/revista-ingenieria-petrolera/ediciones-2020/>

Consorcio Universidades por por la Ciencia



Universidades por la Ciencia documentales

JULIO/ 2021

HUESTRA NUEVA REALIDAD
Jueves de Ciencia
BUQUE OCEANOGRAFICO JUSTO SIERRA
 Documental dirigido por Rodolfo Juárez
 PARTICIPAN:
 Dr. Silvia Urbilla
 Lic. Dorothea A. Meade
 Lic. Azucena Rodríguez
 Mtra. Margarita Flores
 Dra. Ligia Pérez Cruz
 Cap. de Ali. Leopoldo Ríos
 Dr. David Alberto Salas
 Ing. Rodolfo Juárez
 13 de julio | 17:30 horas
 retransmisión por:
 tv-unam
 201 de televisión abierta | 12D-201
 Telsplay 020 | Megacable 120 | Sky 120
 Fundación UNAM www.funam.mx

HUESTRA NUEVA REALIDAD
Jueves de Ciencia
ONDAS GRAVITACIONALES
 Mesa de diálogo y documental
 5 de agosto | 17:30 horas
 Transmisión por:
 tv-unam
 201 de televisión abierta | 12D-201
 Telsplay 020 | Megacable 120 | Sky 120
 Fundación UNAM www.funam.mx

AGOSTO/ 2021

HUESTRA NUEVA REALIDAD
Jueves de Ciencia
CONTAMINACIÓN LUMINICA
 Mesa de diálogo y documental
 11 de agosto | 17:30 horas
 Transmisión por:
 tv-unam
 201 de televisión abierta | 12D-201
 Telsplay 020 | Megacable 120 | Sky 120
 Fundación UNAM www.funam.mx

Noticias

HUESTRA NUEVA REALIDAD
Jueves de Ciencia
EL ESCORPIÓN
 Documental dirigido por Rodolfo Juárez
 1 de julio | 17:30 horas
 retransmisión por:
 tv-unam
 201 de televisión abierta | 12D-201
 Telsplay 020 | Megacable 120 | Sky 120
 Fundación UNAM www.funam.mx

HUESTRA NUEVA REALIDAD
Jueves de Ciencia
EDICIÓN DE GENES
 Mesa de diálogo y documental
 29 de julio | 17:30 horas
 Transmisión por:
 tv-unam
 201 de televisión abierta | 12D-201
 Telsplay 020 | Megacable 120 | Sky 120
 Fundación UNAM www.funam.mx

conferencias

MATEMÁTICAS Y FÍSICA PARA TODOS
"LASERES PULSADOS DE NANSEGUNDOS - APLICACIONES TERRESTRES Y EXTRATERRESTRES"
 Karen Volke Sepúlveda,
 Instituto de Física, UNAM
 24 AGOSTO 2021
 19h-20h (hora de México)
 19h-20h (hora de los EE.UU.)
 Transmisión en vivo
 Fundación UNAM

MATEMÁTICAS Y FÍSICA PARA TODOS
"TRAMPAS DE LUZ Y TRAMPAS DE SONIDO: MANIPULANDO MATERIA SIN TOCARLA"
 Dr. José Luis Ruvalcaba,
 Instituto de Física, UNAM
 31 AGOSTO 2021
 19h-20h (hora de México)
 19h-20h (hora de los EE.UU.)
 Transmisión en vivo
 Fundación UNAM

MATEMÁTICAS Y FÍSICA PARA TODOS
"REVELANDO LOS SECRETOS DEL PATRIMONIO CULTURAL MEXICANO CON ESPECTROSCOPIA"
 Dr. José Luis Ruvalcaba,
 Instituto de Física, UNAM
 31 AGOSTO 2021
 19h-20h (hora de México)
 19h-20h (hora de los EE.UU.)
 Transmisión en vivo
 Fundación UNAM





European
Geosciences Union

EGU Panamerican Gift Workshop 2021



Mérida, Yucatán, México
octubre/2021

<https://www.egu.eu/>



Secretaría de Investigación, Innovación y Educación Superior

Mtro. Mauricio Cámara Leal

Dirección General de Investigación e Innovación

Mtro. Gerardo Vela Monforte



Instituto de Investigación Científica y Estudios Avanzados Chicxulub

Jaime Urrutia Fucugauchi

Ligia Pérez Cruz

El Instituto de Investigación Científica y Estudios Avanzados Chicxulub - IICEAC es una dependencia descentralizada de la Secretaría de Investigación, Innovación y Educación Superior (SIIES) del Estado de Yucatán. El IICEAC tiene entre sus objetivos realizar investigación, divulgación científica y formación de recursos especializados en ciencias de la Tierra, planetarias y biológicas.

El IICEAC está localizado en el Parque Científico y Tecnológico de Yucatán y cuenta con un conjunto de laboratorios, una Litoteca y el Museo de Ciencias Chicxulub. Las actividades del IICEAC están dirigidas a contribuir y ampliar los programas y capacidades de investigación científica y educación superior. El IICEAC realiza investigaciones inter- y multidisciplinarias en ciencias físico-matemáticas, naturales e ingenierías, permitiendo ampliar las capacidades en investigación, innovación y formación de recursos humanos de alto nivel, con una estructura que incorpora una planta técnica y un programa de académicos visitantes.

Los programas de investigación Chicxulub comprenden un amplio espectro multidisciplinario, que incluye estudios en la península de Yucatán y Golfo de México. Estas capacidades dan sustento a la propuesta de creación del IICEAC y forman una base sólida para un rápido desarrollo. Los programas de investigación y construcción de los laboratorios forman parte de la colaboración institucional con las instituciones de investigación y educación superior, en particular con la Universidad Nacional Autónoma de México y la Universidad Autónoma de Yucatán, en el marco de los programas de cooperación nacional e internacional, los planes de desarrollo peninsular y el sistema de investigación e innovación SIIDETAY. Cuenta con instalaciones y laboratorios en el Parque Científico y Tecnológico que incluyen la Litoteca Chicxulub, seis laboratorios y el Museo de Ciencias Chicxulub.

Las investigaciones abarcan proyectos de exploración geofísica, geológica, ciencias planetarias, paleontológicas y de perforaciones. Los proyectos cuentan con financiamiento externo dentro de programas internacionales de cooperación, que agrupan investigadores y estudiantes de distintos países. En la fase inicial se realizan estudios de geofísica, geología, ciencias planetarias, paleobiología, paleoceanografía y desarrollo tecnológico.





● Museo Chicxulub

Gaceta CHICXULUB

Publicación bi-mensual
Instituto de Investigación Científica
y Estudios Avanzados Chicxulub



INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y
ESTUDIOS AVANZADOS CHICXULUB

PARQUE CIENTÍFICO Y
TECNOLÓGICO DE YUCATÁN,
Carretera Mérida-Sierra Papacal km 5, C.P. 97302,
Mérida, Yucatán, México
<http://www.craterchicxulub.com.mx/en>,
<http://pcty.com.mx/>



SIIES
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN
INNOVACIÓN Y EDUCACIÓN
SUPERIOR 2018 - 2024

SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN,
INNOVACIÓN Y EDUCACIÓN
SUPERIOR
Calle 8, No. 347, San Esteban, 97149
Mérida, Yucatán, México
<https://siies.yucatan.gob.mx/>

