



LA ASTROBIOLOGÍA EN MÉXICO

Rafael Navarro:
su legado científico



Boletín informativo de la Coordinación de la Investigación Científica de la UNAM.
Ciudad Universitaria. Número especial

EDITORIAL

4 *El faro, la luz de la ciencia*

Patricia Yolanda de la Peña Sobarzo

AL DÍA

6 Una amistad marcada por marte

Patricia Yolanda de la Peña Sobarzo

PERFILES

10 Karina Navarro y el
impacto de Chicxulub

Patricia Yolanda de la Peña Sobarzo

ES CIENCI@

14 La astrobiología en México

Yassir Zárate Méndez

ASÓMATE A LA CIENCIA

18 Marte: su carbono y la
posibilidad de vida microscópica

Sandra Vázquez Quiróz

IN MEMORIAM

21 Mentor académico

José Antonio Alonso García

PERSONAJES

24 Nostalgia de un buen maestro

José Antonio Alonso García

REFLEXIONES

26 Los caminos de la astrobiología

Yassir Zárate Méndez

PUNTO DE VISTA

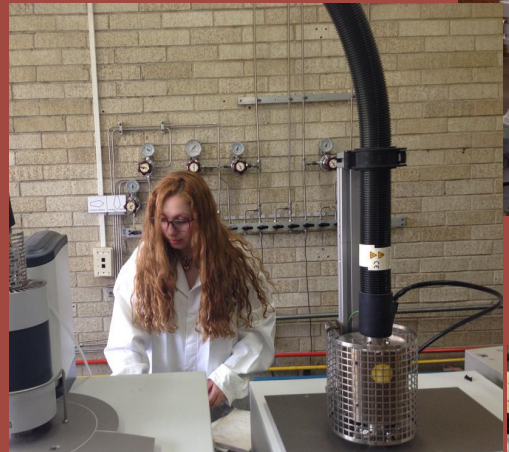
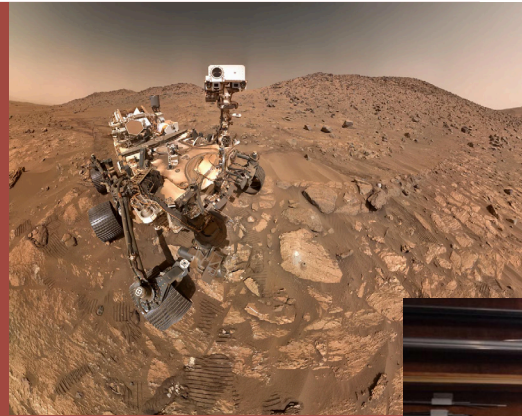
31 Gran maestro de ciencias planetarias

Sandra Vázquez Quiróz

PERSPECTIVA

34 Una estancia de verano para siempre

Sandra Vázquez Quiróz



EN MEMORIA

Recordando en *El faro* 38

La crisis del nitrógeno
en el precámbrico 42

EL FARO NUM. 4

Colonización de Marte 56

EL FARO NUM. 10

Buscando un ambiente análogo
al de Marte en la Tierra 45

EL FARO NUM. 32

El uso de los polímeros en
la ciencia espacial 48

EL FARO NUM. 46

Metano en la
atmósfera de Marte 50

EL FARO NUM. 53

Llevar vida al planeta rojo 52

EL FARO NUM. 100-101

Rafael Navarro. De Maryland a CU 55

EL FARO NUM. 162

¿Hay virus en Marte? 57

EL FARO EN LÍNEA

En opinión de... 60



EL FARO, LA LUZ DE LA CIENCIA

La trascendencia de las actividades científicas desarrolladas en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), así como su reconocimiento a nivel nacional e internacional, hizo evidente la necesidad de crear un medio capaz de difundirlas con la amplitud y claridad que merecen. Fue así como, en 2001, la Coordinación de la Investigación Científica impulsó la creación de una publicación dedicada a ese propósito. Desde entonces, **El faro, la luz de la ciencia** asumió la misión de informar, compartir y acercar las investigaciones realizadas en los diferentes institutos, centros y programas del Subsistema de la Investigación Científica. Hoy, tras 24 años de trabajo ininterrumpido, llega el momento de cerrar esta etapa luminosa.

El nombre de nuestra publicación no fue casual. Tras debatir entre varias opciones, llegamos a una certeza: la ciencia es luz para la sociedad. Sin sus aportaciones, sin la curiosidad que la alimenta, permaneceríamos en penumbras. Así nació **El faro**, símbolo de claridad y guía, porque -como los faros que orientan a los navegantes- la ciencia ilumina los caminos del conocimiento y nos permite comprender el mundo en que vivimos.

Desde su fundación hasta mayo de 2017, **El faro** se imprimió mensualmente. A partir de entonces, y en consonancia con el proyecto “Toda la UNAM en línea”, dimos el salto al mundo digital con la creación del portal elfaro.cic.unam.mx. Desde allí, continuamos nuestra labor a través de diversas plataformas y redes sociales como Facebook, Instagram y Twitter, sin dejar de realizar números impresos conmemorativos dedicados a aniversarios relevantes como los 60 años del cómputo en México, los 75 años del Instituto de Geofísica, los 75 y 80 años del Instituto de Geografía y los 90 del Instituto de Biología, entre otros.

A lo largo de los años, **El faro** despertó el interés de la sociedad por las investigaciones universitarias en áreas tan diversas como las ciencias químico-biológicas, físico matemáticas y de la Tierra, mostrando siempre sus múltiples aplicaciones. También dimos cobertura a acontecimientos de alcance nacional e internacional, como los 75 años de la autonomía de la UNAM o el 450 aniversario de nuestra Máxima Casa de Estudios. En total, llegamos a imprimir 197 números y a publicar en línea cientos de artículos que narran el quehacer científico universitario.

El faro cubrió un espacio no atendido por otras publicaciones de divulgación científica; siempre presentó textos cercanos, cálidos, accesibles, amenos y divertidos, pero siempre con el rigor que exige la ciencia. Profesores y alumnos de secundaria y bachillerato de estados como Morelos, Colima, Michoacán, Veracruz, Baja California y otros

donde la UNAM cuenta con estaciones foráneas, nos pedían ejemplares adicionales. Secciones como Reportajes, Entrevistas, Historia de la Ciencia, Reflexiones y Asómate a la ciencia se convirtieron en favoritas del público. En especial, **El faro** avisa, con su tradicional acertijo matemático, despertó el entusiasmo de los jóvenes, quienes nos enviaban sus respuestas para ganar un libro de ciencia.

Durante estos 24 años, **El faro** fue una aventura de conocimiento y descubrimiento. Nos permitió viajar a distintas épocas, acompañar a gigantes como Newton, Galileo y Einstein, y conocer las vidas de las primeras mujeres científicas. Desde Hipatia de Alejandría o Marie Curie -la primera mujer en obtener un Premio Nobel- hasta el siglo XXI, cuando hemos visto con orgullo cómo las mujeres científicas comienzan a tener una voz más fuerte y una resonancia mayor, ocupando espacios que durante siglos les fueron negados. Desde los laboratorios, los observatorios, los institutos y las aulas, ellas siguen demostrando que la ciencia es también un territorio de sensibilidad, intuición y coraje. **El faro** celebró cada paso de esa conquista silenciosa y luminosa que hoy inspira a las nuevas generaciones.

Fue también un viaje de gran aprendizaje que nos condujo desde el universo microscópico de los quarks y los gluones, las cadenas de ADN, los componentes de la célula, y las nanociencias, pasando por un recorrido por selvas, desiertos, mares y montañas de nuestro planeta, incluyendo la frontera cósmica de las estrellas, cometas y supernovas hasta los paisajes inhóspitos de Marte.

Este número especial está dedicado precisamente al Planeta Rojo, y lo hacemos por dos razones: la primera, a propósito de la reciente noticia publicada por la revista *Nature* el 7 de septiembre de 2025, acerca de las imágenes captadas por el rover *Perseverance* el 23 de julio de 2024. Este vehículo de exploración espacial enviado por la NASA a Marte en julio de 2020 y que aterrizó en febrero de 2021 tomó una selfie compuesta por 62 imágenes de una roca llamada *Cheyava Falls*, considerada la más fascinante hallada hasta ahora en dicho planeta. Se trata de una lutita moteada que podría contener vestigios de antigua vida microbiana. Aunque la confirmación definitiva solo sería posible trayendo la muestra a la Tierra -en una misión de retorno de muestras que la NASA denomina *Mars Sample Return*-, los expertos aseguran que “todavía vale la pena entusiasmarse”.

La segunda razón es que con este número rendimos homenaje al astrobiólogo mexicano Rafael Navarro González, uno de nuestros entrevistados más asiduo y querido. Investigador del Instituto de Ciencias Nucleares, desde su laboratorio de Química de Plasmas y Estudios Planetarios dedicó su vida a explorar el origen de la vida y a colaborar con las misiones de la NASA en Marte, como el *Curiosity*. Su intempestivo fallecimiento en enero de 2021 fue una pérdida irreparable para México y para la ciencia universal.

El doctor Rafael Navarro González fue un maestro excepcional y un divulgador apasionado, formador de generaciones de estudiantes a quienes enseñó a recrear las atmósferas de otros planetas en grandes matraces, y a reproducir los relámpagos de la Tierra primitiva para comprender su papel en el origen de la vida. En este número conversamos con varios de sus


discípulos, quienes mantienen viva su herencia científica.

Gracias a sus aportaciones y trayectoria, por iniciativa de la NASA su nombre quedó inmortalizado en el relieve de Marte: la Montaña Rafael Navarro, símbolo de orgullo para México.

Con este número, **El faro, la luz de la ciencia** se despide de sus lecto-

res, pero su luz no se extingue. Brillará en la memoria de quienes hicieron posible esta travesía: en los investigadores del Subsistema que, durante más de dos décadas, abrieron las puertas de sus laboratorios y nos compartieron su tiempo, su conocimiento y su entusiasmo; en los periodistas y divulgadores que convirtieron datos en historias; en los lectores que esperaban cada número con curiosidad y afecto.

Al final de esta publicación incluimos algunas de las opiniones y palabras de aliento que distintos científicos nos regalaron a lo largo de los años. Ellas testimonian el valor que esta publicación alcanzó dentro y fuera de la UNAM, y del cariño que despertó en su comunidad.

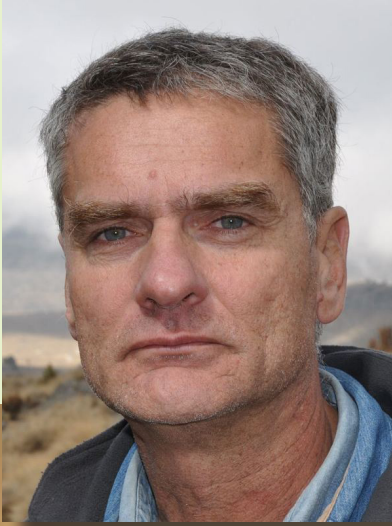
Hoy decimos gracias -a nuestros lectores, colaboradores y amigos- por haber permitido que **El faro** iluminara durante casi un cuarto de siglo el horizonte de la ciencia mexicana. Que su luz no se apague, sino que inspire a otros a continuar encendiendo nuevas luces en nombre del conocimiento. 

En 2014 *El faro*
fue condecorado con el

Premio Nacional de Periodismo
en la categoría de

Divulgación e Información de
Innovación Científica y Tecnológica
en el marco del
XLIII

Certamen Nacional de Periodismo



El rover *Perseverance* llegó a Marte en febrero de 2021. Su misión incluye la recolección de muestras de rocas y regolito (suelo y rocas fragmentadas) para que sean devueltas a la Tierra en una futura misión. Al estar explorando el cráter Jezero, un lugar árido y hostil, la NASA considera que su morfología revela que tuvo un pasado acuoso, con condiciones propicias para albergar vida microscópica. NASA/JPL CalTech/MSSS.

UNA AMISTAD MARCADA POR MARTE

Patricia Yolanda de la Peña Sobarzo

La exploración espacial no solo se escribe con datos y experimentos; también con nombres propios como el del doctor Chris McKay: investigador sénior del Centro de Investigación Ames de la NASA, y uno de los más reconocidos en el campo de la astrobiología y la exploración planetaria a nivel mundial. Su carrera se ha enfocado en ambientes extremos de la Tierra -análogos a los que podríamos encontrar en Marte- y en la búsqueda de vida en otros mundos del Sistema Solar. Desde el Centro de Investigación Ames, McKay ha trabajado en la planificación de futuras misiones a Marte y ha formado parte de proyectos históricos como la sonda *Huygens* que descendió en Titán (2005), el módulo de aterrizaje *Phoenix* en Marte (2008), el Laboratorio robótico de la NASA en Marte (rover *Curiosity*, 2012), y la misión *Dragonfly* que en 2034 explorará indicios de química prebiótica en la atmósfera de Titán, la luna más grande de Saturno.

En entrevista con **El faro**, McKay compartió recuerdos y reflexiones sobre su colega y amigo, el doctor Rafael Navarro González, pionero de la astrobiología en México y colaborador clave en varias misiones de la NASA.

El encuentro con Rafael Navarro

McKay conoció a Navarro en la década de los noventa. “Ya había leído algunos de sus artículos sobre el origen de la vida, en particular sus investigaciones sobre los efectos químicos de los relámpagos en la atmósfera primitiva. Nos encontramos en diversas reuniones de la Sociedad Internacional de Astrobiología (ISSOL), y en una de ellas, en Trieste, Italia, en 1997, descubrimos que compartíamos muchos intereses científicos”, recuerda el investigador estadounidense.

Poco después viajó a México, invitado por investigadores interesados en estudiar la zona alpina del Pico de Orizaba, un lugar considerado como un posible análogo marciano. En aquella ocasión, McKay visitó al doctor Navarro y a su familia en la UNAM, quienes se unieron a la expedición a Jalapa. Con



otros expertos, instalaron estaciones meteorológicas desde la base del bosque (2,500 msnm) hasta la línea de los árboles (donde desaparece toda la vegetación arbórea) a más de 4,200 msnm. “Queríamos entender los límites de la vida vegetal en ambientes extremos y conocer qué condiciones restringen el crecimiento de árboles en dichas zonas alpinas”.

McKay subrayó la singularidad del lugar: “El Pico de Orizaba es un laboratorio natural único por ser la zona alpina cercana al trópico del Ecuador más alta del mundo. Sus condiciones podrían reflejar cómo sería Marte tras un proceso inicial de terraformación ambiental con coníferas”.

Durante la investigación se realizaron registros de temperatura y presión para determinar cuáles son las condiciones límite que pueden soportar árboles y plantas. Asimismo, se estudió la química del suelo para saber si los nutrientes limitan de alguna manera el crecimiento de árboles, determinando que la composición química del suelo es básicamente la misma a diferentes alturas.

De esa expedición surgieron artículos que siguen siendo referencia para los estudios de habitabilidad en ambientes extremos.

Del Pico de Orizaba al Desierto de Atacama

La colaboración entre McKay y Navarro continuó pocos años después en otro ambiente extremo: el Desierto de Atacama, en Chile, uno de los lugares más áridos del planeta. “En 2001 planeábamos una campaña allí y Rafael se sumó al proyecto con gran entusiasmo”, explica McKay. De esa expedición nació un artículo clave publicado en



En julio de 2024, *Perseverance* extrajo el espécimen de una roca llena de vetas llamada *Cheyava Falls* ubicada en *Neretva Vallis*, un valle fluvial cortado en la superficie marciana por el agua que se precipitó hacia el cráter Jezero hace miles de millones de años. NASA/JPL Caltech/MSSS.

Science en 2003 que demostró que algunos suelos del Atacama eran tan áridos que establecían el “límite seco” de la vida microbiana en la Tierra en condiciones de extrema sequedad. “Este artículo, aclara McKay, fue el inicio de nuestro trabajo sobre los suelos de Marte”.

Interesados en investigar los suelos en Marte, Navarro llevó a cabo experimentos con percloratos -sales presentes en el Atacama- mezclados con suelos locales. Esto derivó en otro artículo fundamental publicado por ambos colegas y amigos en el *Journal of Geophysical Research: Planets* (2010), donde se reanalizaron los resultados de la misión Vikingo de los años setenta, concluyendo que la aparente ausencia de materia orgánica en Marte se debía en realidad a la presencia de percloratos que destruían las moléculas al ser analizadas, no a la falta de compuestos orgánicos en el planeta rojo.

McKay lo resume con contundencia: “El trabajo de Rafael resolvió un misterio que nos desconcertó durante décadas. Explicó por

qué la misión Vikingo no pudo detectar compuestos orgánicos, y ese hallazgo fue confirmado después por el rover *Curiosity*”.

Ciencia y amistad

“Trabajar con Rafael siempre era divertido y productivo. Tenía una gran creatividad para diseñar experimentos y una capacidad extraordinaria para conseguir los instrumentos adecuados”, comenta McKay con una sonrisa.

Más adelante, recuerda con mucho afecto cómo le encantaba visitar el laboratorio del doctor Navarro en el Instituto de Ciencias Nucleares de la UNAM, siempre rodeado de estudiantes entusiastas. “Además, como soy un buen nadador, disfrutaba mucho la alberca olímpica de Ciudad Universitaria; la altura de la Ciudad de México la hacía todo un reto”, aseguró.

Además de la amistad, la colaboración científica entre McKay y Navarro fue muy fructífera. Los artículos conjuntos sobre Atacama y Marte abrieron nuevos campos de investigación en astrobiología, hoy explorados por equipos de todo el mundo.

El legado científico de Rafael Navarro

McKay subraya la trascendencia de los aportes de Navarro a las misiones de la NASA. Ambos fueron coinvestigadores en el rover *Curiosity* y colaboraron en el diseño del instrumento SAM (*Sample Analysis on Mars*), encargado del análisis orgánico de muestras en Marte. “Rafael era brillante para planear y diseñar experimentos, y también para conseguir el equipo necesario, como el cromatógrafo de gases acoplado a un espectrómetro de masas que utilizaba en su laboratorio”.

Con respecto a la misión *Perseverance*, que llegó a Marte en 2021, McKay señala que aunque no cuenta con un instrumento tan sofisticado como el SAM, su mayor contribución será el regreso de muestras marcianas a la Tierra, donde po-

drán analizarse con tecnologías mucho más avanzadas, algo sin precedentes.

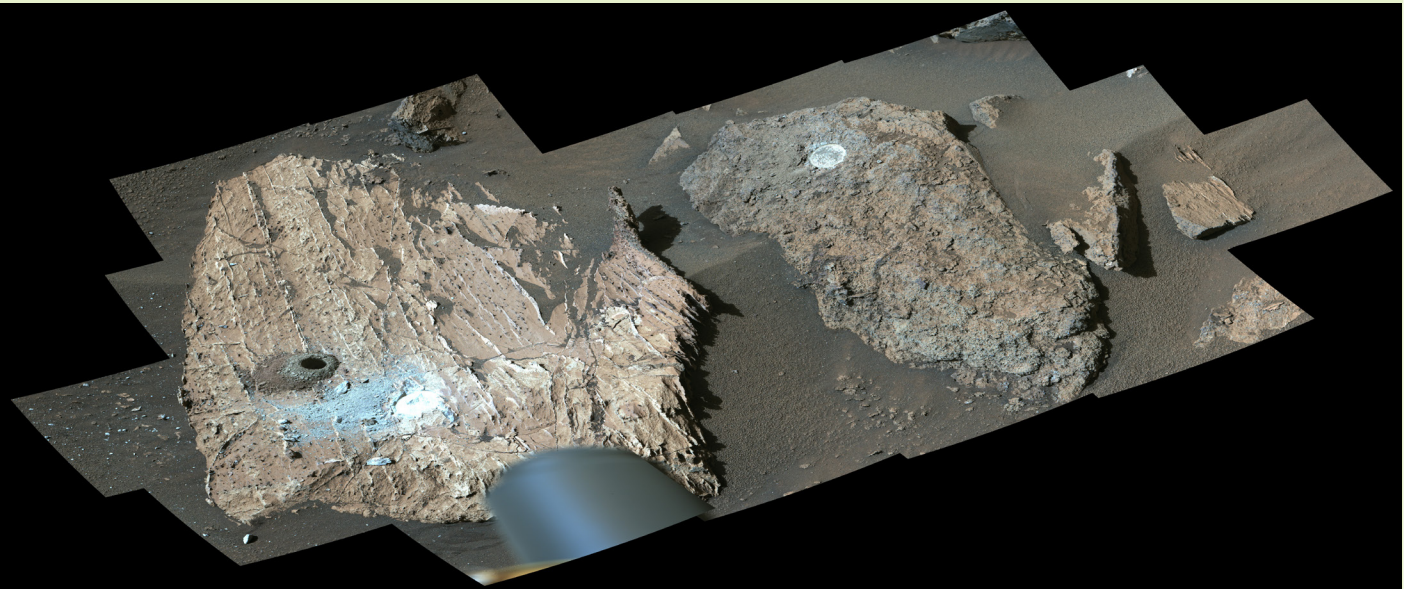
Mirando hacia el futuro

El investigador de la NASA asegura que su equipo continúa trabajando en todas las áreas en las que Rafael estuvo involucrado, desde el Desierto de Atacama hasta los estudios directos en Marte. También menciona otros ambientes extremos de la Tierra que siguen siendo relevantes, como los lagos congelados de la Antártida, el Ártico de Siberia y Canadá, el desierto de Namibia y el Sahara.

Respecto al sueño de una misión tripulada, McKay se muestra optimista: “Sí, el ser humano llegará a Marte. Quizás primero solo como explorador temporal, y después para dar el primer paso hacia un asentamiento permanente. Pero

ese primer paso podría tardar todavía más de treinta años”.

Al final de la entrevista, McKay añadió un mensaje personal: “Aunque la vida de Rafael fue trágicamente interrumpida en 2021, su influencia científica es incuestionable, sigue viva y siempre será recordado por la comunidad científica. Sus investigaciones en diversas áreas se suman a un legado del que cualquier investigador estaría orgulloso como logro de toda una vida”. La huella de Rafael Navarro sigue presente en cada estación meteorológica del Pico de Orizaba, en cada experimento con percloratos del Atacama y en cada análisis de muestras marcianas. Su trabajo es testimonio de cómo la ciencia se construye en red, cruzando fronteras y generaciones, y de cómo los grandes descubrimientos nacen tanto de la curiosidad como de la amistad. 🇲🇽



Roca *Cheyava Falls*, descubierta en Marte por el rover *Perseverance* de la NASA.

La roca fue hallada en el cráter *Jezero*, un antiguo lago marciano.

Los científicos la consideran una de las rocas más importantes investigadas hasta ahora, ya que contiene material orgánico y vetas de sulfato de calcio que sugieren que alguna vez el agua fluyó a través de ella.

NASA/JPL-Caltech.

KARINA NAVARRO Y EL IMPACTO DE CHICXULUB

Patricia Yolanda de la Peña Sobarzo

Hace unos 66 millones de años, un asteroide de entre 10 y 12 kilómetros de diámetro se precipitó contra la Tierra en lo que hoy conocemos como la península de Yucatán, México. Ese instante cambió para siempre la historia de nuestro planeta. El lugar del choque, Chicxulub, es hoy un laboratorio natural que nos ha permitido comprender cómo se forman los cráteres gigantes y cuáles son las consecuencias globales de un impacto de semejante magnitud.

¿Qué ocurre cuando un asteroide golpea la Tierra?

El choque de un asteroide de ese tamaño y a tal velocidad libera una energía colosal, millones de veces mayor que la de una bomba nuclear. En cuestión de segundos, el suelo se fractura, se derrite y se vaporiza. Una gigantesca nube de gases ardientes y rocas pulverizados se eleva a la atmósfera como una pluma de humo que alcanza kilómetros de altura. Parte de este material es expulsado más allá de la superficie terrestre, mientras que otra porción cae alrededor del sitio del impacto, depositándose en capas de roca conocidas como brechas de impacto.

Chicxulub: una cicatriz monumental

Los estudios científicos revelan que el cráter de Chicxulub alcanza entre 180 y 200 kilómetros de diámetro. La mitad se encuentra en tierra firme y la otra bajo el mar. Aunque yace cubierto por estratos de roca, ha podido ser analizado gracias a técnicas como la sísmica de reflexión, perforaciones profundas y modelos computacionales.

A diferencia de los cráteres pequeños y circulares observados en la Luna, Chicxulub es un cráter complejo de gran dimensión: posee un anillo central de montañas conocido como anillo de picos y terrazas concéntricas formadas por el colapso del terreno tras el impacto. Así lo detalla el artículo científico “Modelado de Impactos y Formación de Cráteres Complejos”, de L. Pérez-Cruz, K. F. Navarro, J. Urrutia Fucugauchi y el Grupo Chicxulub.

Diseño artístico de cómo se podría haber visto el cráter Chicxulub posterior al impacto del asteroide en la Península de Yucatán. Estos cráteres se caracterizan por los “anillos de picos”, cadenas montañosas en forma de anillo en su parte central. El modelo de colapso dinámico postula que un pico central de gran tamaño se derrumbó y formó la estructura de anillos. Detlev van Ravenswaay/*Science*.

Un cataclismo global: el inicio del fin de los dinosaurios

El impacto de Chicxulub es considerado la principal causa de la extinción masiva del Límite Cretácico-Paleógeno. La colisión desencadenó ondas de choque, incendios de escala planetaria y una alteración climática sin precedentes. La explosión liberó grandes volúmenes de dióxido de carbono, dióxido de azufre y vapor de agua, gases que oscurecieron el cielo, calentaron la atmósfera y bloquearon la luz solar durante meses. Las consecuencias fueron devastadoras: un enfriamiento global que transformó el clima y acabó con cerca del 76 % de las especies marinas y terrestres, incluidos los dinosaurios. Así, Chicxulub dejó una huella imborrable no solo en la superficie terrestre, sino también en la historia de la vida.

Ciencia para descifrar Chicxulub

Comprender Chicxulub ha sido posible únicamente gracias a la ciencia. Desde su descubrimiento, investigadores de todo el mundo han recurrido a modelos numéricos, experimentos de laboratorio y perforaciones profundas para recrear lo ocurrido hace 66 millones de años. Incluso han simulado con láser la pluma de gases generada en el impacto, para analizar su espectro luminoso y composición química. Experimentos más recientes se enfocan en estudiar mi-

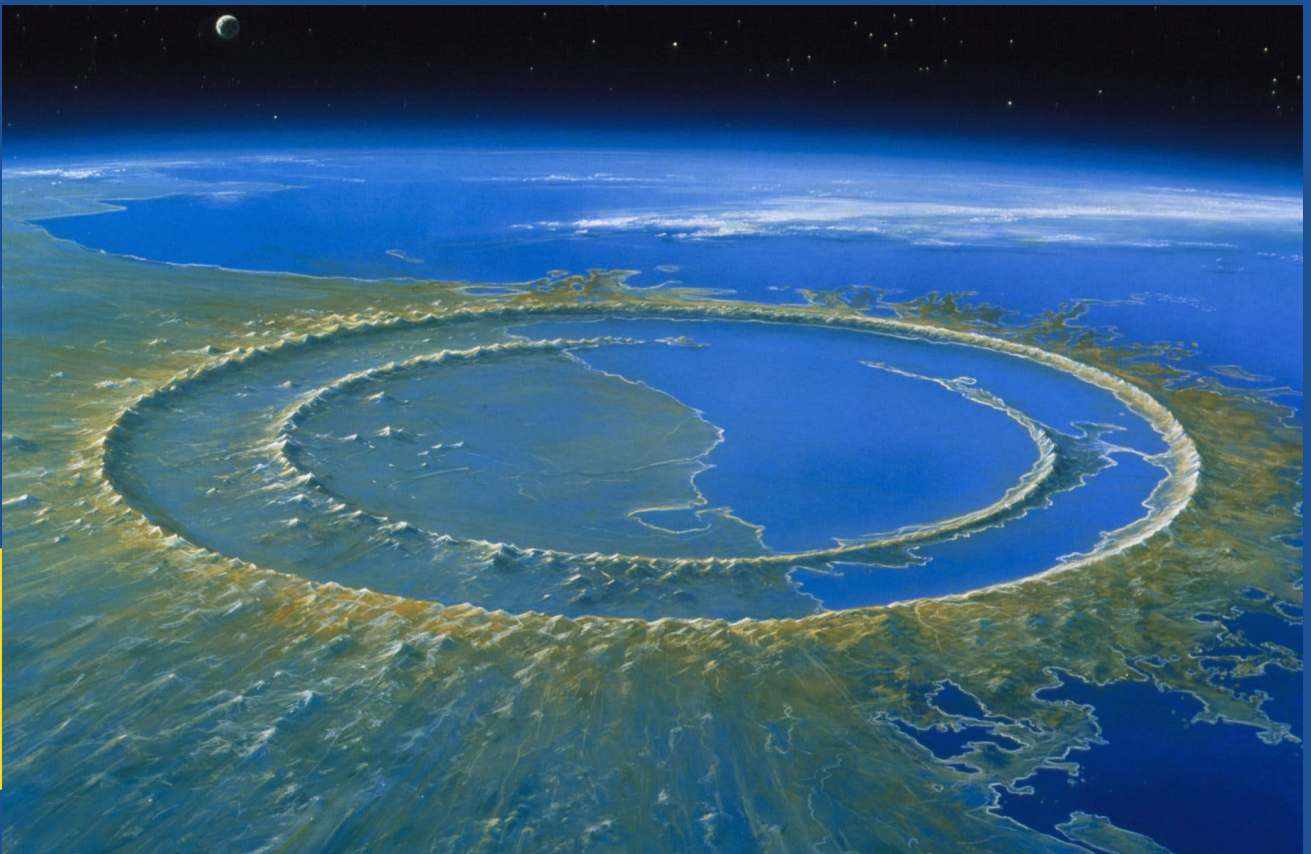
nerales como la calcita, componente fundamental de los sedimentos de Chicxulub, con el fin de conocer a detalle sus transformaciones durante el impacto.

Karina Fabiola Navarro: una trayectoria marcada por la ciencia

La doctora Karina Fabiola Navarro, joven investigadora en el Programa de Doctorado en Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM, participa activamente en el estudio del cráter Chicxulub en el Instituto de Geofísica. En colaboración con el doctor Jaime Urrutia Fucugauchi y la doctora Ligia Pérez Cruz, su labor se centra en analizar los sedimentos y la dinámica del impacto que dio origen al cráter.

Hija del distinguido investigador Rafael Navarro González, Karina conversó con *El faro* acerca de su trayectoria y experiencia en este importante proyecto de investigación, recordando cómo desde su infancia descubrió su amor por la ciencia. “Desde muy niña supe que quería estudiar Biología. Mis primeros libros eran sobre el espacio, la naturaleza, el centro de la Tierra. Mi hermano y yo crecimos en un ambiente donde la ciencia siempre estuvo presente, tanto por mi papá, como por mi mamá”.

De aquella etapa recuerda con cariño un episodio en una feria internacional del libro: mientras otros niños se interesaban en títulos sobre “Clifford, el



perrito rojo”, ella solicitó al encargado del stand que por favor le apartara “La Guía del clima”, hasta que regresara con sus padres para comprarlo: “Cuando me respondió que estuviera tranquila pues era muy poco probable que se vendiera, me pregunté cómo era posible que a alguien no pudiera interesarle la guía del clima. Ya desde entonces tenía muy claro mi camino sobre lo que quería estudiar”.

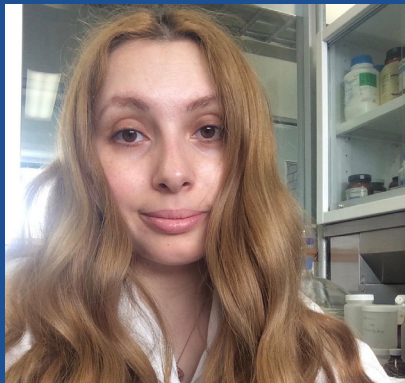
Más tarde, a inicios de 1997, acompañando a su padre durante una estancia en el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) donde trabajaba con el premio Nobel Mario Molina, descubrió un mapa de grandes dimensiones que anunciaba los efectos del cambio climático, entre ellos, la elevación del nivel del mar. “Describía cómo parte de México y de otras naciones iban a quedar cubiertas de agua”. El impacto que le produjo aquella imagen marcaría su interés tanto por el cambio climático actual como por los registros climáticos del pasado.

Su formación académica refleja esta vocación: licenciatura en Biología en la UNAM, maestría en Ingeniería en Tecnologías para el Desarrollo Sustentable en la Universidad Anáhuac y, en paralelo, una maestría en Ciencias en el Posgrado de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM.

Al continuar con su relato, Karina nos dice: “Todos sabían quién era mi papá, por lo que iba a ser muy difícil que él fuera mi asesor de tesis. Así que, para mi investigación, decidí buscar una forma de unir mi gusto por la astrobiología con el cambio climático”. Ese interés se confirmó al asistir con su papá, a una conferencia que dio el doctor Urrutia, a lo que añade: “...Y me encantó, porque es muy interesante conocer el tema del cambio climático y compararlo con lo que estamos viviendo en la actualidad.”

De la maestría al doctorado: Chicxulub como laboratorio

Karina decidió unir su pasión por la astrobiología y el cambio climático. Para obtener el grado de maestría



presentó la tesis “Simulación experimental del impacto producido en Chicxulub en el límite Cretácico/Paleógeno por ablación láser de sedimentos marinos”, bajo la tutoría del doctor Jaime Urrutia.

Hoy, en su etapa posdoctoral, recrea en el laboratorio la pluma de vapor generada por el impacto -el *fireball*- para medir sus propiedades físicas y firmas espectrales, información crucial para alimentar modelos teóricos y climáticos. Paralelamente, estudia sedimentos marinos como registros paleoclimáticos, lo que le permite comprender mejor los cambios físicos, químicos y biológicos asociados al evento.

Su investigación integra ciencias atmosféricas, geología y astrobiología, siempre con la mirada puesta en los efectos ambientales de los impactos planetarios. “La astrobiología siempre me ha gustado mucho y siento que es la forma de relacionarme y contribuir al legado de mi papá”.

Colaboración con el doctor Rafael Navarro González

En el curso de sus investigaciones sobre la litografía en Chicxulub, Karina Fabiola coincidió con un hallazgo que la conectó profundamente con la trayectoria de su padre. Justo cuando analizaba los estra-



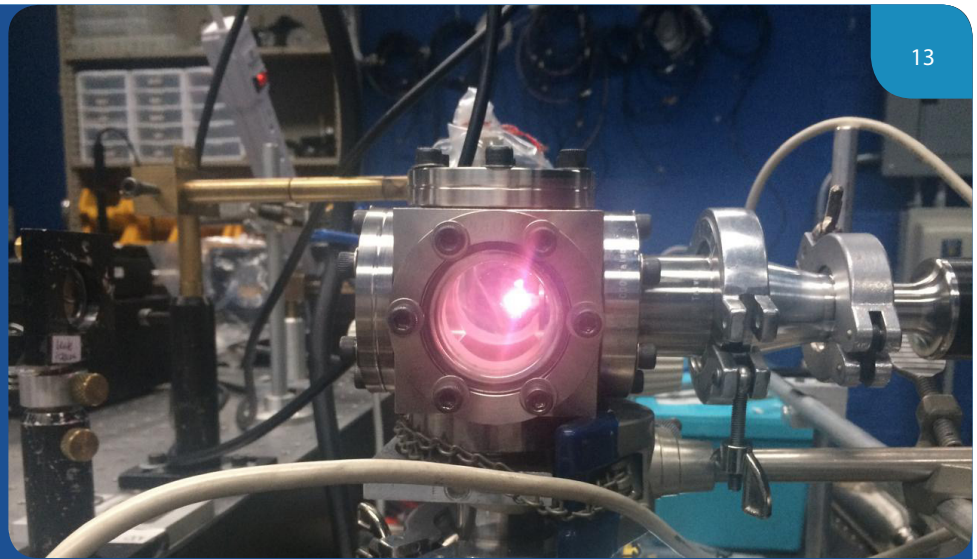
Dra. Karina Navarro preparando una atmósfera simulada del K/Pg en el Laboratorio de Química de Plasmas y Estudios Planetarios, hoy Unidad de Laboratorios Rafael Navarro.

tos del cráter, surgieron los resultados que confirmaban la presencia de tiofenos en Marte. Intrigada, decidió revisar sus propios registros y, para su sorpresa, también encontró tiofenos en Chicxulub.

Los tiofenos son compuestos aromáticos similares al benceno, pero dotados de propiedades singulares gracias a la presencia de azufre. Aunque pueden originarse en procesos vinculados con materia orgánica, no constituyen necesariamente evidencia de vida en Marte. “No, no en este caso”, aclara la investigadora. “Parecen ser el resultado de procesos no biológicos”. Sin embargo, lo que más le entusiasma es la posibilidad de establecer un puente comparativo: “Ambos -el cráter de Chicxulub en la Tierra y el cráter Gale en Marte- estructuras generadas por impactos de asteroides ocurridos a lo largo de la historia del Sistema Solar. Es fascinante estudiar un cráter aquí y relacionarlo con otros en Marte o incluso en la Luna. Así es como la ciencia de la astrobiología logra vincular el espacio con nuestro propio planeta”.

Esa coincidencia motivó a padre e hija a emprender juntos la redacción de un artículo sobre los tiofenos identificados tanto en Chicxulub como en Gale. “Apenas íbamos a comenzar cuando llegó la pandemia. Aunque logramos escribirlo, todavía sigue en proceso de publicación”, explica Karina.

El doctor Rafael Navarro fue pionero de la astrobiología en la UNAM gracias a sus investigaciones sobre Marte, y su legado ha trascendido generaciones. Karina subraya que la influencia de su padre no solo marcó su propia vocación, sino también la de otros miembros de su familia: “El doctor Navarro inspiró a muchas personas a dedicarse a la ciencia, entre ellas a mi tía, a varios sobrinos, a mi hermano y a mí. De una forma u otra, todos terminamos vinculados a la investigación”. Con orgullo, añade: “Es fundamental que las y los jóvenes conozcan los logros científicos de mi papá. Todos los mexicanos podemos sentirnos honrados de que exista en Marte una montaña que lleva su nombre: la Montaña Rafael Navarro. La ciencia de la astrobiología en México debe continuar, fortalecerse y motivar a nuevas generaciones que serán el futuro científico de nuestro país”.



Láser impactando la muestra del cráter de Chicxulub. En esta investigación se utilizó por primera vez una muestra proveniente del núcleo del cráter.

Relevancia institucional y colaborativa

El grupo de investigación en geofísica y geociencias de la UNAM mantiene un enfoque multidisciplinario que abarca desde la gravimetría hasta el paleoclima. Liderado por especialistas como Jaime Urrutia -en paleomagnetismo- y Ligia Pérez-Cruz -en geociencias marinas y estudios paleoclimáticos- este equipo se enriquece con las aportaciones de la doctora Navarro en oceanografía geológica y sedimentología del evento de impacto.

Impacto y expectativas

La investigación de Karina Navarro aporta respuestas clave sobre procesos físicos ocurridos tras el impacto, como la formación del anillo de picos, la génesis de brechas y la producción de vidrio de impacto.

Su participación en el análisis de núcleos marinos y sedimentación post impacto ayuda a reconstruir la recuperación del planeta tras una de las mayores extinciones de la historia.

Su trayectoria promete consolidar la comprensión científica del evento de Chicxulub y servir como base para modelar futuros impactos y sus posibles repercusiones globales.

El trabajo de la doctora Karina Navarro, enfocado en los sedimentos y la dinámica del cráter de Chicxulub, constituye una pieza esencial para descifrar los mecanismos de formación de cráteres y sus consecuencias ambientales. Su investigación, en colaboración con un sólido equipo académico, no solo reconstruye uno de los capítulos más dramáticos de la historia geológica de la Tierra, sino que también proyecta nuevas luces sobre nuestro futuro como especie en un planeta vulnerable a los designios del cosmos. ■

LA ASTROBIOLOGÍA EN MÉXICO

Yassir Zárate Méndez

Por sí mismo, Rafael Navarro González era una institución. Con su trabajo dio forma a una disciplina en México, la astrobiología, afirma la doctora Antígona Segura Peralta, investigadora del Instituto de Ciencias Nucleares (ICN), de la UNAM.

Un área en consolidación

La astrobiología es una disciplina en crecimiento. Uno de los parámetros para confirmar ese ascenso lo representa la cantidad de especialistas formados en las últimas dos décadas.

Hace veinte años, los primeros congresos de la *Astrobiology Science Conference (AbSciCon)* reunían a una cantidad reducida de especialistas.

“Había una sola sesión, porque éramos 200 personas, cuando mucho. Ahora estos son de mil personas o más. El más reciente encuentro, virtual y presencial, fue multitudinario, comparado con aquellos primeros congresos. Claramente la astrobiología está creciendo a nivel mundial”, asienta la investigadora Segura Peralta, en entrevista con **El faro**.

En una de las últimas reuniones efectuadas en Atlanta, cientos de investigadores abordaron los más diversos asuntos: desde la química prebiótica, hasta la búsqueda de exoplanetas con las condiciones adecuadas de habitabilidad, pasando por las formas extremófilas de vida, entre otros.

Si uno se asoma a un programa de la *AbSciCon*, va a encontrarse con trabajos sobre el origen de la vida y la química prebiótica; la evolución de los primeros seres vivos; la síntesis de organismos vivos, que tiene ecos en la biología sintética; la interacción entre ecosistema y la evolución de los sistemas biogeoquímicos. Otra importante área de interés para la astrobiología es el estudio de los organismos extremófilos.

“La evolución de la Tierra como planeta está marcada por la vida. Esto es relevante para entender cómo vamos a detectar la vida en otros mundos”, nos advierte.

Nuevos caminos

Esos nuevos senderos le han abierto paso a la filosofía, que también se ha hecho presente en las reuniones de la comunidad dedicada a la astrobiología, ante la necesidad de definir y delimitar lo que es la vida. “Eso es algo que todavía tenemos pendiente, que no hemos terminado de hacer”, aclara.



Un potente radiotelescopio explorando las profundidades del espacio desde un paisaje sereno.

Otro tanto ocurre con la historia de esta búsqueda, producida a raíz de nuestra necesidad de entender de dónde viene nuestra idea de la vida extraterrestre; uno de esos capítulos lo representa el proyecto SETI, dedicado a detectar civilizaciones extraterrestres por medio de radiotelescopios. La astrobiología también se ha adentrado en otras rutas, que podrían parecer muy ajenas o distantes. Una de ellas es la teología. “Hay gente de teología que está entrándole a estas discusiones”. En esos debates se plantea la postura de las diferentes religiones, a la cuestión de la vida extraterrestre. Visto así el asunto, se entiende el interés de los teólogos.

Una pregunta esencial

La astrobiología requiere de una colaboración multidisciplinaria, que involucre, por ejemplo, a astrónomos y geofísicos, ante la necesidad de entender cómo funciona un planeta.

El doctor Navarro González con un modelo a escala en su Laboratorio de Química de Plasmas y Estudios Planetarios en el Instituto de Ciencias Nucleares.

“Eso se hace desde la geofísica, y ahora hemos encontrado planetas fantásticos, muy diferentes a lo que hemos visto en el sistema solar. Me refiero a las supertierras y a los minineptunos. Algunos podrían ser potencialmente habitables, y estamos pensando cómo caracterizar la vida en estos casos. Nuestra gama de estudios abarca muchísimas áreas, y eso también lo hace interesante para la comunicación de la ciencia”, expone.



Por si fuera poco, la amplitud de temas permite el acercamiento con la gente joven. Se pasa de la vida extraterrestre, y de ahí se salta a la química del universo y cómo este se organiza para formar vida. Luego se pueden asomar a las características de los seres vivos y de los planetas; cómo es un planeta habitable y las observaciones astronómicas. “Estás cubriendo una serie de temas, a partir de una pregunta, si existe vida en el universo o no”, asienta Segura Peralta.

La situación en México

Desafortunadamente, en México la respuesta es mucho más lenta. Lo que ha habido son esfuerzos particulares, sostenidos principalmente a través de la Sociedad Mexicana de Astrobiología, uno de cuyos presidentes fue Rafael Navarro González.

Otras investigadoras que han presidido a la Sociedad han sido Elva Escobar, exdirectora del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología; Sandra Ramírez, actualmente investigadora en la Universidad Autónoma del Estado de Morelos y excolaboradora de Navarro González en el Instituto de Ciencias Nucleares; Patricia Núñez, adscrita en la Universidad Autónoma de Baja California, en Ensenada, y la propia Antígona Segura.

“Hemos sostenido a esta comunidad interesada en astrobiología, a partir de una sociedad civil. Tenemos un congreso nacional y la Escuela Mexicana de Astrobiología, aunque a nivel institucional, el esfuerzo ha sido muy limitado”, admite.

En el caso de la academia, sigue sin instituirse algún posgrado en astrobiología, mientras que los fondos por parte de entidades como el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología son relativamente escasos.

La herencia de *Cosmos*

La doctora Antígona refiere que su interés por la astrobiología se dio cuando vio los capítulos de la serie televisiva *Cosmos*, de Carl Sagan. En su momento, el astrofísico estadounidense utilizaba el término exobiología para referirse al campo de conocimiento que ahora conocemos precisamente como astrobiología.

Desde entonces, Antígona Segura se vinculó con la astrobiología, y fue así como supo del doctor Rafael Navarro González.

“Hasta que terminé la maestría en astronomía, no había un lugar donde estudiar astrobiología; de hecho, en México todavía no hay posgrados en astrobiología, pero en un libro encontré que había una persona, de nombre Rafael Navarro González, que estaba trabajando en temas de astrobiología y, para mi sorpresa, esa persona estaba en el Instituto de Ciencias Nucleares, que está muy cerca del Instituto de Astronomía, donde estaba finalizando mi maestría en astronomía. Le escribí preguntándole si había un proyecto para una astronomía, y me respondió que sí, que había un proyecto sobre relámpagos volcánicos en Marte”, rememora la investigadora universitaria.

Agrega que hasta ese momento nunca había hecho trabajo experimental, debido a que sus áreas de interés y de estudio eran teóri-



La Astrobiología es la disciplina que se encarga de investigar la química del universo y cómo este se organiza para formar vida tanto dentro del Sistema Solar, como fuera del mismo, para saber si existe vida microbiana, ya sea presente o pasada.

cas, pero estaba “muy dispuesta a entrarle a la astrobiología y él de inmediato me dijo que sí”. En ese momento no pudo conocerlo, porque Navarro González efectuaba una estancia con Mario Molina, el Premio Nobel de Química. “Fue hasta unos meses después, luego de que tuve que cambiarme de posgrado, porque en el de Astrofísica, donde me encontraba, no me permitieron el tema de investigación, me dijeron que eso no era astronomía, aunque ahora las cosas han cambiado mucho, incluso soy tutora de varias personas en lo que ahora se llama posgrado de astrofísica”, externa.

De esa manera, optó por pasarse al posgrado de Ciencias de la Tierra y empezó a trabajar con el doctor Rafael Navarro.

“En ese momento había tres personas trabajando en el laboratorio: un estudiante de la maestría en química; Sandra Ramírez, que ahora es investigadora; y José de la Rosa, que estaba haciendo su tesis de maestría en química, y que se quedó en el laboratorio del doctor Navarro, además de Paola Molina, que había estado ahí desde que era chiquita, literalmente chiquita, porque entró a la prepa”, recuerda.

El laboratorio tenía apenas unos pocos años, aunque con el paso del tiempo se incorporaron especialistas en biología, medicina, química y astronomía. Navarro

González se encargó de generar un ambiente donde se conjugaban esos saberes de una manera muy particular.

“Fue muy enriquecedor haber pasado por ese laboratorio. Una de las cosas que me llevo es justamente esta construcción de un espacio, donde haya muchas voces de diferentes lugares, porque además así se construye la astrobiología, desde la multidisciplina, desde las ciencias básicas”, remata.

Bosquejo de Rafael Navarro González

La doctora Antígona Segura rememora de la siguiente manera al desaparecido investigador: “Lo recuerdo como una persona muy seria. A veces intentaba bromear y era muy malo para eso. De hecho, nos asustaba mucho cuando hacía bromas, porque se ponía serio y decía algo que él consideraba muy chistoso y todos nos volteábamos a ver, preguntándonos si era broma, si debíamos reír o no. Eso era algo muy curioso, porque en realidad tenía una personalidad más sobria, y era difícil leerlo cuando se salía de ahí”.

Añade que se trataba de una persona muy amable e institucional, que consideraba a la Universidad como algo fundamental en su vida y en su labor académica; además, estaba siempre dispuesto a compartir su conocimiento.

De acuerdo con la integrante del ICN, el laboratorio estaba permanentemente lleno de estudiantes, a pesar de que Navarro González tenía una agenda cada vez más apretada, sobre todo, cuando se involucró en el proyecto *Curiosity*, el rover que envió la NASA a Marte. Por esa razón, tenía que viajar mucho a los Estados Unidos, aunque a su laboratorio lo entendía como un semillero para la investigación en general, independientemente de la astrobiología. “Tuvimos una relación de asesor-estudiante de mucho respeto. Y eso me parece también fundamental. Incluso había cosas en las que no coincidíamos nada, que tenían que ver con política, pero siempre hubo respeto. Eso es algo que valoro mucho de haberlo tratado”, concluye.

Aportaciones de Rafael Navarro a la astrobiología

Para Antígona Segura, el doctor Rafael Navarro González abrió e

instituyó la astrobiología en México. “Muchas de las personas que estamos trabajando en esta área en México, pasamos por su laboratorio o son personas de una segunda generación, que son alumnos de Sandra Ramírez o míos”. Los estudios de astrobiología eran estudios serios. “Esto es ciencia. Él lo demostró, sobre todo cuando se involucra con el proyecto *Curiosity*”. Nos recuerda que el investigador del ICN había refutado los experimentos de las naves Vikingo, enviadas a Marte a buscar materia orgánica. Navarro González encuentra que hay un fallo en la metodología, publica esos resultados y se enfrenta al equipo del Vikingo. Finalmente, se valida lo que proponía, y entonces la NASA retoma la propuesta y lo llama a participar en el equipo que estaba a punto de ser descartado. Él aclaró que el dispositivo funcionaba, y que solo la metodología debía cambiarse. Es así como ingresa al equipo del *Curiosity*, un rover “gigantesco”,

del tamaño de un auto pequeño. “Me parece que esta contribución que hace, al cambiar la estrategia de cómo vamos a buscar el material orgánico en Marte, es una aportación que se reconoce internacionalmente”, resalta la doctora Segura.

Asienta que en el encuentro de la *Astrobiological Science Conference*, efectuado en 2021 en Atlanta, se hizo una sesión especial en memoria de Rafael Navarro González.

Asimismo, en ese año se le dedicó el tercer Congreso Latinoamericano de Astrobiología, “porque es una institución que abrió estas puertas en México y, por consecuencia, en Latinoamérica y porque hay contribuciones específicas, que hizo a nivel internacional”, resume Segura.

Además, trabajó en la química de la atmósfera de Titán, una de las lunas de Saturno; hizo estudios sobre el fondo marino de Europa, uno de los satélites naturales de Júpiter, además de otras contribuciones en diferentes áreas de la astrobiología. 🇲🇽



El doctor Navarro González al final de una videoconferencia efectuada con miembros de la NASA en el auditorio de la Coordinación de la Investigación Científica en 2019.

MARTE, SU CARBONO Y LA POSIBILIDAD DE VIDA MICROSCÓPICA

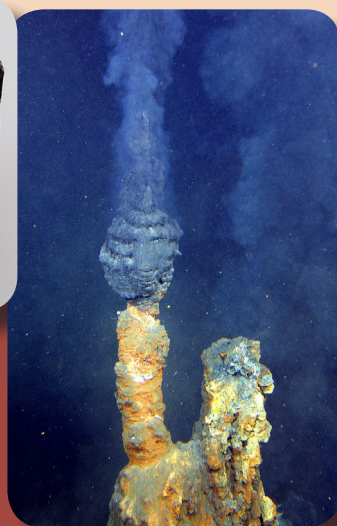
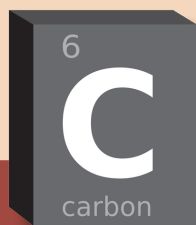
Sandra Vázquez Quiroz

En 2020, un equipo internacional de científicos que forma parte de la misión *Curiosity* de la NASA, entre los que participó el astrobiólogo mexicano Rafael Navarro, publicó en la revista *Nature Astronomy* un artículo en el que informó sobre el ciclo del carbono orgánico en Marte, es decir, C-12, el más común entre los seres vivos.

Recientemente, parte del equipo de la misma misión *Curiosity* volvió a identificar algunas muestras de carbono, cuya descripción se da en el artículo *Depleted carbon isotope compositions observed at Gale crater, Mars*, publicado en *Proceedings of the National Academy of Sciences*.

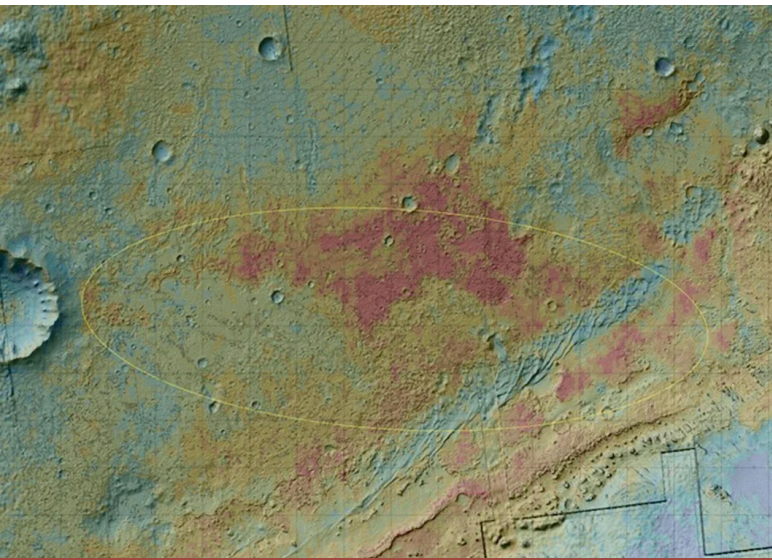
Presencia de carbono en Marte

Para entender qué pasa en el planeta rojo con la identificación del carbono (C), elemento clave para la vida, **El faro** se acercó con la doctora Patricia Guadalupe Núñez Pérez, del Instituto de Astronomía, Ensenada. La palinóloga de formación explica que “tanto en la misión *Curiosity* como en la misión *Perseverance*, se tienen diversos objetivos. Cada proyecto tiene sus líneas de investigación a seguir y dentro de estos se encuentra el estudio del carbono, ya que hace algunos años se encontró abundante materia orgánica en el cráter *Gale*. Antes ya se había muestreado cerca de ahí, pero sin hallar tanto carbono como en ese sitio, en el que se encontró 100 veces más carbono de lo que se esperaba. Una hipótesis apunta a que pudieron vivir organismos en ese lugar”.



El carbono es un elemento clave para la vida.

Las ventilas o chimeneas hidrotermales son ecosistemas únicos que albergan una gran diversidad de vida adaptada a condiciones extremas, como alta presión, ausencia de luz y químicos tóxicos. Se consideran un posible lugar de origen de la vida en la Tierra debido a su antigüedad y a las condiciones que simulan las de la Tierra primitiva.



Esta imagen se obtuvo combinando datos topográficos con datos de inercia térmica que registran la capacidad de la superficie para retener el calor. El óvalo amarillo muestra el lugar de aterrizaje del Curiosity. NASA/JPL-Caltech/ASU.

No obstante, aún se está lejos de afirmar que se ha identificado vida microscópica en Marte. La también experta en el estudio de tardígrados destaca que para tener la certeza de si hay microorganismos o fósiles de estos, tienen que pasar al menos 10 años en lo que las muestras regresan a la Tierra y se logran estudiar con microscopía de barrido o de transmisión para observar las imágenes con mayor definición.

“Para tener pruebas más concluyentes hay que traer las muestras y eso va a pasar dentro de un década, más o menos. Si hay mayor inversión de dinero, quizás tarde menos”, asienta.

La científica aclara que “para poder hacer un estudio en forma, se debe procesar la muestra microbiológicamente y ninguna de las dos misiones en Marte cuenta con un microscopio para poder ver una muestra, ni manera de procesarla adecuadamente. Aún no hay un microscopio pequeño para llevarlo a Marte. Es necesario traer la muestra y cultivar esos suelos para realizar las diferentes pruebas en la Tierra”.

Destaca que otra teoría es que el carbono hallado en Marte se produjo por microorganismos; otra más tiene que ver con la posibilidad de que Marte haya pasado por una nube interestelar, es decir, nubes cargadas con moléculas. En estas nubes interestelares se han encontrado algunas nubes orgánicas, por lo que existe la posibilidad de que Marte captara las moléculas de carbono de esa manera.

La vida extrema en la Tierra

La doctora Núñez Pérez se especializa en el estudio de organismos extremófilos, como los tardígrados y las bacterias de ventilas hidrotermales en el fondo marino. Por su formación como palinóloga también estudia el polen y las esporas en musgos y otras plantas. Junto con su equipo se dedica a observar si las microestructuras de este tipo de plantas cuentan

con suficiente resistencia para soportar muchas cosas, entre ellas, soportar viajes fuera de la Tierra.

“Estamos viendo qué tan factible es que polen o esporas puedan salir solos o envueltos en alguna capa de arcilla y puedan sobrevivir el trayecto. Recientemente participé en la codirección de una estudiante de doctorado de la Universidad Autónoma de Baja California en un proyecto de extremófilos de ventilas hidrotermales”, refiere.

La astrobióloga señala que en su laboratorio, como en algunos otros, se impulsan investigaciones sobre panspermia inversa, es decir, que desde la Tierra se esté dispersando la vida hacia otros planetas.

Explica que en la NASA y otros centros de investigación espacial se realizan experimentos para llevar comida fresca tanto a la Estación

Espacial Internacional (EEI) como en los viajes que se prevén a Marte. Hasta ahora solo se puede transportar comida deshidratada, como las “sopas rápidas”, pero con el paso de los años se quiere conseguir una alimentación más fresca para los astronautas; un gran avance fue la primera flor que logró crecer dentro de la EEI en 2016.

La científica rememora que en uno de los experimentos donde se intentaba cultivar lechuga resultó suma-



El rover *Curiosity* fué lanzado en 2011 y aterrizó en el cráter *Gale* en 2012. Llevaba instrumentos científicos para analizar la geología, la radiación y la atmósfera de Marte.

mente atractivo para uno de los astronautas, quien al ver la lechuga tan verde y fresca, se la comió y se perdió el experimento. Destaca que su estudiante de doctorado, la M. en C. Manet Peña, ha realizado varios cruceros de investigación para estudiar las bacterias que viven en el fondo marino, en una colaboración de su laboratorio con el de la doctora Victoria Orphan, del *CalTech*.

Manet Peña ha colectado algunas bacterias que viven en las ventilas hidrotermales, a más de 3,000 metros de profundidad. Estos organismos viven en condiciones “poliextremas”, soportando altos niveles de temperatura y presión. En esos lugares también se puede hallar gran diversidad de pequeños peces, moluscos y camarones, muy diferentes a los que se encuentran más cerca de la superficie marina.

Núñez Pérez trabaja desde hace algunos años con tardígrados, también denominados ositos de agua, que se hallan no solo en el océano sino en musgos y líquenes de zonas muy altas, del rango de 2,000 a 3,000 metros sobre el nivel del mar. Los musgos viven en condiciones donde se encuentra el aire más puro y se ha visto que donde viven estas especies de tardígrados son lugares con altitudes mayores a los 1,000 metros.

Recientemente hallaron en algunos musgos y líquenes de la Sierra de San Pedro Mártir, en Baja California, 66 especímenes que representan cuatro taxones de tardígrados en 14 muestras de musgos y líquenes recolectadas de la corteza del pino de Jeffrey (*Pinus jeffreyi* Balf.).

Núñez Pérez y su equipo identificaron dos taxones a nivel de especie (*Echiniscus becki* Schuster & Grigarrick, 1966 y *E. blumi* Richters, 1903), y dos a nivel de género (*Milnesium* sp. y *Ramazzottius* sp.). Estos son los primeros registros de tardígrados del estado de Baja California, y aumentan la diversidad conocida de tardígrados de México a 84 especies. Y aclara que aunque tiene contacto con algunos colegas de



A través de las nubes cargadas de moléculas de carbono pudo llegar vida microbiana a Marte. Abajo: Los tardígrados son organismos invertebrados microscópicos que tienen la capacidad de sobrevivir a condiciones extremas.

la NASA, actualmente su colaboración directa es con *CalTech*, donde su estudiante de doctorado realizó una estancia.


Su encuentro con Rafael Navarro

La doctora Patricia Núñez conoció al doctor Rafael Navarro en 2007, en un congreso de Astrobiología celebrado en Universum.

En 2016, el doctor Navarro fue el presidente del jurado que aprobó la tesis de maestría “Marte como potencial planeta habitable de acuerdo a experimentos astrobiológicos”, presentada por David Enrique Green Tripp y dirigida por ella y por el doctor Roberto Vázquez, dentro del programa de posgrado en Astrofísica. La investigadora explica que estuvo en contacto con el doctor Navarro vía epistolar por correos electrónicos y que debido a la distancia que separa Ensenada de Ciudad Universitaria no les fue posible reunirse en persona, dada la apretada agenda del doctor Navarro en la víspera del lanzamiento de la misión *Curiosity* de la NASA.

Sobre la idea que tenía el doctor Navarro y otros colegas en el mundo acerca de la terraformación de Marte, la doctora Núñez explica que esta idea se ha transformado. “Conforme pasan los años las ideas cambian. Ahora, como se sabe un poco más de Marte, de encontrar un rastro de vida en el planeta rojo, no lo podríamos tocar”, acota.

La ética biológica señala que de encontrar vida fuera de la Tierra esta no se debe tocar; se tendría que respetar el ciclo biológico de ese planeta. “Lo que se piensa ahora es reconsiderar y cambiar nuestra mentalidad como seres humanos, debemos evolucionar”, destaca la investigadora universitaria.

No obstante, hay varios proyectos sobre cómo podría ser vivir en Marte; plantea que la idea de la película *El Marciano* es muy parecida a lo que se estima. “Se podría vivir en carpas, cultivar algunos alimentos y modificar lo menos posible Marte, pero si se encuentra vida no podríamos hacer eso, ya que estaríamos modificando el suelo”, concluye la científica. 



MENTOR ACADÉMICO

José Antonio Alonso García

Julio Ernesto Valdivia Silva era un estudiante de maestría en la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú, cuando conoció al doctor Lauren Fletcher, quien visitaba la institución en busca de colaboradores para un proyecto de la NASA en Sudamérica. “Buscaba a alguien que le ayudara en unas pruebas microbiológicas”. Valdivia aceptó el reto y algunos meses después, durante una expedición con el equipo científico de Fletcher al desierto chileno de Atacama, conoció al doctor Rafael Navarro González, “quien me ofreció hacer el doctorado en su laboratorio en la UNAM. El plan era que alguien residente en esta zona de Sudamérica hiciera lo mismo que él hacía en México. Él allá y yo acá”.

Con muchas ganas de enseñar

En su primera impresión, Valdivia percibió al doctor Navarro como “una persona bastante abierta, con muchas ganas de enseñar. Y eso era lo que me gustaba a mí. Así fue el inicio y por eso lo considero como un padre académico”.

Valdivia llegó al Instituto de Ciencias Nucleares (ICN) de la UNAM en 2004 para cursar su doctorado como alumno del doctor Navarro, y lo concluyó cinco años después. “Yo había egresado de un área médica en Arequipa y entré en el área químico-biológico-planetaria en la Ciudad de México”.

El inicio fue una experiencia muy novedosa, porque era la primera vez que se alejaba de la familia y de su país. “Tenía mucho temor, y más aún porque no era mi área de investigación, pues yo trabajaba en medicina, en investigación biológica. Y al llegar me di cuenta de que el laboratorio del doctor Rafael era más química, química analítica, en equipos similares a los que habían llevado las naves Vikingo a Marte en 1975. Y me metieron a cursos avanzados”.

Recuerda este científico peruano que las dos naves, Vikingo I y Vikingo II, fueron misiones de la NASA



no tripuladas y las primeras en amortizar y llevar a cabo los primeros estudios biológicos en el planeta rojo.

Aprendizajes intensos

Desde el punto de vista profesional, refiere Valdivia que la dificultad se incrementaba porque el laboratorio del doctor Navarro era bastante multidisciplinario, “que es ahora lo que se pide. Hoy, si no es multidisciplinario, no tiene impacto”. Así pues, aprendió lo antes posible a usar los equipos y las tecnologías de punta con las continuas enseñanzas del maestro y la ayuda de los colegas, en torno a una decena de estudiantes de los tres niveles: licenciatura, maestría y doctorado. “Mi primera etapa en el ICN fue de aprendizaje intenso”. Abunda el investigador que con el doctor Navarro trabajó “muchísimo. Estoy muy orgulloso porque, si se cuentan los artículos de investigación donde colaboré con él probablemente yo sea el alumno con el que más publicó. Tendremos unos doce artículos publicados juntos”. Las claves, advierte, fueron que le gustaba cómo escribía su mentor y que le copió el estilo en artículos de investigación, aspecto que una vez comentó ante todos los colegas del laboratorio: ‘Me gusta cómo escribes’, les habría dicho Navarro. “Como que me quedó la narrativa que él seguía en los



Doctor Julio Ernesto Valdivia Silva en su laboratorio de Bioingeniería e Ingeniería Química en el Centro de Investigación en Bioingeniería - BIO en Arequipa, Perú.



Desierto de Atacama en Chile. Su suelo árido resulta ser un buen ambiente análogo de Marte en la Tierra para buscar elementos que aporten conocimiento a la investigación sobre la probable existencia y origen de la vida en el planeta rojo.

artículos. Es un padre académico, sobre todo ya en el área más avanzada de estudios de doctorado”.

En campo, lejos del entorno académico

Recuerda Valdivia que el doctor Navarro era más exigente en el laboratorio, pues en las expediciones reinaba un ambiente de más convivencia que de rigor académico y científico (el principal objetivo expedicionario solía ser recoger muestras de suelo para analizarlas a fondo después en los laboratorios) y que, al finalizar las jornadas de recolección, el en esos momentos ya célebre colaborador de la NASA incluso hacía más bromas que en el entorno cerrado del aula o laboratorio.

“Donde más se acrecentó nuestra relación, y por lo que puedo decir que tengo un mentor, fue justamente en las expediciones, donde el trato es más espontáneo y menos formal, pues el laboratorio es mucho de trabajo, horas y resultados”.

Convivieron maestro y alumno en dos expediciones a Sudamérica, en el desierto chileno de Atacama y en el desierto de La Joya, aledaño a la ciudad peruana de Arequipa, suelos terrestres ambos muy parecidos a los marcianos, en busca de elementos que aportaran conocimiento a sus investigaciones sobre la probable existencia y origen de la vida en el planeta rojo.

Los árboles del Pico de Orizaba

Pero fue en las varias expediciones al Pico de Orizaba, limítrofe de los estados de Puebla y Veracruz, donde Navarro y Valdivia convivieron más tiempo. “Ahí es donde

hemos tenido más acción desde el punto de vista de los hallazgos”. Uno de los objetivos de estas investigaciones se dirigía a comprobar qué pasaba, por ejemplo, con la lluvia en esos suelos áridos. Pero el hallazgo que más fascinó a los expedicionarios fue cuando encontraron que había árboles que podían sobrevivir más allá de la línea de los árboles.

Explica Valdivia que el Pico de Orizaba se considera el lugar donde crecen y se desarrollan árboles a mayor altitud en nuestro planeta. Y para investigar el porqué, “hicimos una plantación enorme de pinos por encima de la línea natural y regresamos en varias oportunidades y veíamos que habían crecido”. Ese hallazgo fue el punto de partida de muchas hipótesis para tratar de descubrir qué pasaba, qué vías se activaban. ¿Sería que el viento era el que no permitía que creciera más el árbol, aunque sí podía sobrevivir, en ambientes tan extremos? “Fue bastante interesante ese diálogo académico de estar sugiriendo hipótesis, porque generar hipótesis siempre enriquece”.

Conocimiento, gestión, cultura digital y recursos

Comenta el investigador peruano que el doctor Navarro fue cambiando su trato a causa de algunas diferencias con varios eminentes científicos de la UNAM. “Con el tiempo hubo tintes políticos que estresaban mucho al doctor Rafael. Comenzaron a haber ciertas cosas de investigadores que no estaban de acuerdo en una u otra cosa. Incluso, él se separó de la Sociedad Mexicana de Astrobiología durante los siguientes años a causa de estas diferencias”.

Además de un excelente transmisor del conocimiento científico, el doctor Navarro también era un excelente maestro en el manejo de alumnos, aspecto importante según Valdivia, porque “quien estudia doctorado sabe que tiene que manejar estudiantes; no es solo ser experto en un área del conocimiento, sino que también debe aprender a coordinar y dirigir personas y equipos. Y de eso aprendí mucho en los cinco años de mi estancia en el ICN”.

Y no solo en el manejo de alumnos era experto el doctor Navarro, sino también en la transmisión de la cultura digital y, especialmente, en el tema de la gestión y manejo de recursos, “que a veces influyen notoriamente en el desempeño final”.

Papa a Marte

Actualmente, el doctor Julio Valdivia es el director del Departamento de Gestión de Bioingeniería en la Universidad de Ingeniería y Tecnología de Lima, Perú. “Todavía continúo en el área espacial, en el famoso proyecto de la papa en Marte, que lo dirigí desde Perú con gente de la NASA y del Centro Internacional de la Papa, asentado en Lima”. Y señala

la que el origen de la papa es andino, zona geográfica donde hay 4,500 variedades de este tubérculo. Uno de los descubrimientos de mayor impacto de este proyecto fue el hallazgo de papas que sobrevivieron en ambientes extremos, “por lo que es una excelente candidata para ir a Marte. El objetivo es llevar un vegetal a este planeta y el primer candidato es la papa. Pueden sobrevivir tanto en ambientes de alta salinidad, como lo es el suelo marciano, de una gran presencia de dióxido de carbono y a temperaturas bastante frías, a cero grados”. Y revela que la temperatura promedio durante el verano marciano es de menos 20 grados centígrados, por cuanto la papa, al ser bastante resistente al frío,



La papa tiene la capacidad de sobrevivir en ambientes extremos de temperaturas muy bajas, por lo que es una excelente candidata para ir a Marte. El objetivo es llevar un vegetal a este planeta y el primer candidato es la papa.

sería una buena candidata para desarrollarse en Marte. “El hecho de que haya vegetales que puedan soportar bajas temperaturas y ambientes extremos ayudaría mucho a ahorrar energía en un sistema autosostenible en una colonia espacial”.

De Perú, pasando por China ¿hasta Marte?

Un beneficio social que ha surgido de este trabajo del doctor Valdivia y los demás equipos de la NASA es que, actualmente, estas especies de papas se están sembrando en diversas zonas de China y Bangladesh donde ya no crecía nada.

El fallecimiento del doctor Rafael Navarro impactó a su exalumno por ser tan inesperado. “Al leer el mensaje que me envió Paola Molina, amiga y colega del ICN, pensé que era irreal. Me invadió la sensación de que no puedes creer que eso haya pasado. Me quedé frío. Hasta ahora, aún no me lo puedo creer”, concluye el exalumno del gran mentor Rafael Navarro González. 📍

NOSTALGIA DE UN BUEN MAESTRO

José Antonio Alonso García

En los años 2002 y 2003, el doctor Rafael Navarro González fue profesor invitado en el Laboratorio Interuniversitario de Sistemas Atmosféricos de la Universidad de París VII Denis Diderot y de la Universidad París Este Creteil Val del Marne.

Recuerda el maestro José De la Rosa que fue en esa época cuando le pidió que, en su ausencia, se encargara de su Laboratorio de Química de Plasmas y Estudios Planetarios, ubicado en el Departamento de Física de Plasmas e Interacción de Radiación con la Materia, del Instituto de Ciencias Nucleares (ICN) de la UNAM.

De la Rosa era su alumno de maestría y, años después, “cuando ya estaba concluyendo mi doctorado me dijo: ‘Quiero que trabajes aquí conmigo porque tengo que salir mucho’. Y me contrató como su técnico académico”. A partir de que publicó, en 2003, sus investigaciones en el desierto de Atacama, el doctor Navarro empezó a ser famoso.

Del efecto saltamontes a Titán

De la Rosa y dos compañeros más de licenciatura decidieron estudiar su maestría en Química Analítica con el doctor Navarro como tutor “porque su laboratorio era de primer mundo, y no lo había en ninguna otra parte”.

Comenta que algo que no sabe la gente es que, en sus inicios, el doctor estudiaba problemas atmosféricos. De la Rosa lo conoció en una reunión en que estaba proponiendo un proyecto sobre el efecto saltamontes, el estudio de cómo los pesticidas que se usan en Centroamérica y México avanzan poco a poco hasta que, finalmente, llegan hasta Canadá. Era un proyecto conjunto entre México, Estados Unidos y Canadá. “Pero en ese entonces se vino una huelga muy grande en la UNAM [1999-2000] y el proyecto no se llevó a cabo”, rememora. Ante la eventualidad, el doctor Navarro le propuso el estudio de Titán, una de las lunas de Saturno más interesantes para buscar vida extraterrestre en nuestro sistema solar. Revela De la Rosa que al principio no estaba convencido, pero “el doctor te convencía de todo por la forma en que te hablaba. ‘Es un sitio -me dijo- que se parece mucho a la Tierra primitiva, es como un laboratorio prebiótico, donde prácticamente hay todo lo que se necesita para la vida’. Y ese fue mi proyecto de tesis, la química analítica de la atmósfera de Titán”.

Después de la huelga, el aspirante a maestro acudió al ICN a una entrevista y desde el inicio de la plática



Doctor Rafael Navarro Gonzalez.

“el doctor me cayó muy, muy bien. Me respondió todas las preguntas y me resolvió todas las dudas”.

Confiesa que una de las cosas que más le impresionó era que “siempre tenía su puerta abierta. Recibía a todo mundo, trabajadores, administrativos, investigadores. Y uno le podía preguntar de todo y siempre había una respuesta de su parte”.

Del desierto a la cúspide

Concluida la maestría, De la Rosa inició de inmediato el doctorado, proceso durante el que acompañó en varias ocasiones al doctor Navarro en sus expediciones a lugares terrestres semejantes a los marcianos, a fin de recoger muestras para evaluar las posibilidades de vida en esas zonas tan extremosas. Así, estuvo en el desierto de Atacama (Chile), en el Pico de Orizaba, en el desierto de La Joya -en las



Rafael Navarro González dedicó su vida a las ciencias. La NASA, con la que colaboró en diversos importantes proyectos, le rinde homenaje al llamar una montaña en Marte con su nombre, lo que representa un orgullo para la ciencia hecha en México. https://www.researchgate.net/figure/Gale-Crater-Topography-Courtesy-NASA_fig1_313114399

cercanías de la ciudad peruana de Arequipa-, y en el californiano desierto de Mojave.

Durante esas expediciones, relata hoy su exalumno, el doctor Navarro era realmente un guía que organizaba muy bien a su equipo, las actividades y procesos. Al final de la jornada, solía haber una reunión y cuando había logros, se festejaban. “Siempre escuchaba con atención nuestras opiniones y comentarios. Era muy buena gente, más apapachador que exigente. A veces, como que tenía cara de enojón, pero no lo era. Yo lo recuerdo con mucho cariño”. Además, era muy espontáneo. De la Rosa refiere que cuando

Navarro se enteró del éxito de la misión *Curiosity* y su amortizaje, en la que participaba muy activamente, sus alumnos estaban en el laboratorio y él “salió corriendo de su cubículo gritando que había sido un éxito. ‘Lo logramos’, dijo, o algo así. Estaba súper contento”.

A tiempo, bien y rápido


A veces entraba de improviso al laboratorio diciendo: “A ver, chicos, veamos avances, cómo van, en qué se han retrasado, cuáles son sus problemas. Cuando percibía que algunos de sus estudiantes no tenían recursos trataba de resolverles ese problema para que pudieran seguir sus estudios y no se retrasaran mucho. Le gustaba que todos terminaran a tiempo, bien y lo más rápido posible. Siempre nos decía que teníamos que trabajar arduamente para conseguir nuestros objetivos”, evoca De la Rosa, que fue su técnico académico durante más de diez años y ahora es el encargado del laboratorio mientras se nombra un investigador que lo sustituya.

Y concluye: “El doctor aún tenía muchas cosas que investigar y hacer. Era una persona relativamente joven. Su muerte nos sorprendió. Nosotros pensábamos que era muy fuerte y que seguramente se iba a recuperar, pero, a última hora, todo se complicó y falleció”.

Custodio de un legado perenne

A casi dos décadas de haberse encargado del Laboratorio de Química de Plasmas y Estudios Planetarios, el maestro José De la Rosa sigue cumpliendo gustosamente la tarea y manteniendo vivo el legado científico del doctor Rafael Navarro González. Asesora a los alumnos en técnicas de laboratorio y buen uso de los equipos, pone a su disposición los insumos y la materia prima para los ensayos y, en la medida de sus posibilidades, soluciona los problemas que vayan surgiendo, tanto teóricos como prácticos.

Los proyectos del doctor Navarro siguen en *standby*, a la espera de que las autoridades universitarias designen al nuevo responsable del Departamento de Física de Plasmas e Interacción de Radiación con la Materia.

La ciencia así es y será. Los científicos se irán pasando la estafeta y, algún día, en algún laboratorio, uno de los muchos equipos de investigación saltará a la fama, “aupado a hombros de gigantes”. Y uno de esos gigantes será el doctor Rafael Navarro González, cuyo nombre está inscrito en el mapa del planeta Marte, conferido a una montaña del cráter Gale, “Montaña Rafael Navarro”, homenaje de la NASA a uno de sus más distinguidos colaboradores en la misión *Mars Science Laboratory*, que llevó a cabo el rover *Curiosity*. 

LOS CAMINOS DE LA ASTROBIOLOGÍA

Yassir Zárate Méndez

La doctora Sandra Ramírez Jiménez mantuvo un estrecho vínculo académico, laboral y amistoso con el doctor Rafael Navarro González. Durante varios años, colaboró con él, primero como estudiante de posgrado y posteriormente como parte del equipo de trabajo.

En entrevista con *El faro*, la ahora investigadora de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM), rememora que tuvo la oportunidad de conocer a Navarro González cuando este recientemente había regresado a México, y comenzaba a montar lo que acabaría siendo el Laboratorio de Atmósferas Planetarias, en el Instituto de Ciencias Nucleares (ICN), de la UNAM.

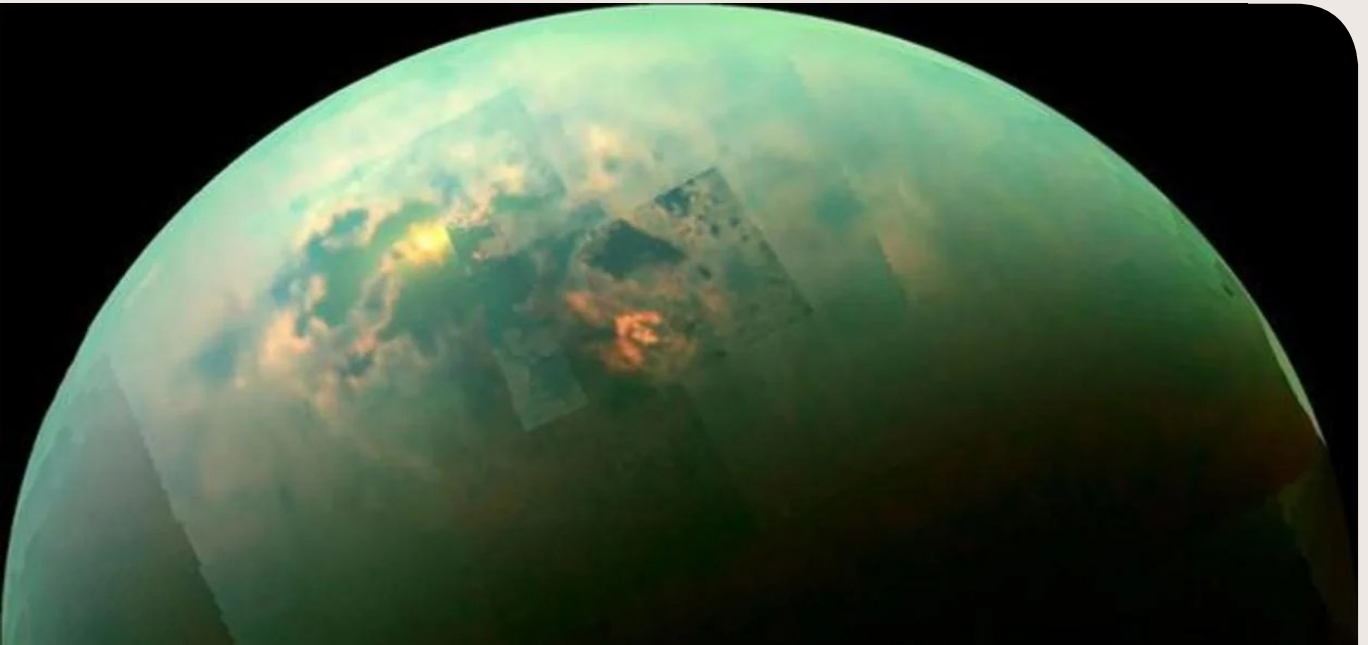
“Conocí al Dr. Rafael Navarro en sus inicios. De hecho, él casi

acababa de regresar a México, porque había hecho su doctorado en Estados Unidos. Me incorporé como estudiante de posgrado a su grupo de investigación y empecé a preparar mi tesis de maestría, que versaba sobre Titán, una de las lunas de Saturno y único satélite del sistema solar que retiene una atmósfera”, nos explica.

El trabajo entre la doctora Ramírez y Navarro González se dio tras una invitación que le hiciera a ella Alfredo Romero, uno de los colaboradores del investigador del ICN. Desde que lo conoció, tras la conversación que tuvieron y el proyecto que le propuso desarrollar, relacionado con la atmósfera de Titán, quedó convencida. El toque final fue el laboratorio, que pudo conocer, a pesar de que varios de los equipos continuaban empaquetados.

“Alfredo Romero me invita a conocer el laboratorio y a platicar con el doctor Rafael Navarro sobre los proyectos que tenía acerca de las atmósferas planetarias. Yo me considero muy afortunada, porque cuando me incorporo al laboratorio, apenas se habían recibido los equipos de instrumentación analítica. Me tocó desempacar, como si fuera Navidad, abriendo regalos; sacarlos de las cajas, instalarlos, recibir la capacitación para aprender a utilizarlos y sacarles el máximo de provecho. Así empezó mi colaboración con el doctor Navarro”, rememora.





Titán, el mayor satélite de Saturno y el segundo más grande del sistema solar después de Ganímedes, es algo más que un satélite. Se le puede considerar un planeta enano, con su atmósfera y con muchos procesos meteorológicos que lo asemejan a la Tierra más que ningún otro cuerpo de nuestro sistema planetario. En Titán, ningún relieve topográfico supera los 2.000 metros de altura. Telescopioschile. Página anterior. La doctora Sandra Ramírez Jiménez preparando una mezcla de gases semejante a la reportada para el satélite Titán en el Laboratorio de Simulación de Ambientes Planetarios en el Centro de Investigaciones Químicas de la UAEM.

Ella había hecho sus estudios de licenciatura en la Facultad de Química de la Universidad Autónoma del Estado de México, en la ciudad de Toluca, donde se especializó en química analítica, “el área de la química que se dedica a determinar de qué están hechas las cosas, cuáles son las moléculas que están formando una sustancia o un objeto”, precisa.

La atmósfera de Titán

Titán es una de las lunas de Saturno. Desde hace tiempo ha llamado la atención de los astrobiólogos, quienes consideran a ese satélite como un laboratorio natural en el que se pueden estudiar procesos químicos similares a los ocurridos en la Tierra primitiva.

De acuerdo con la doctora Ramírez Jiménez, las imágenes de Titán conocidas hasta ese entonces, perfilaban una esfera muy homogénea en su superficie, “pero eso era lo que podíamos ver desde afuera; lo que

estábamos observando era la atmósfera y no sabíamos si había o no una superficie sólida, líquida o semilíquida”.

El tema de interés era saber qué sucedía con los componentes de la atmósfera de aquella luna saturniana, formada principalmente por nitrógeno molecular, que también es el gas más abundante en la atmósfera terrestre. Además, la de Titán tiene metano, una de las moléculas orgánicas más sencillas, así como trazas de componentes orgánicos, como hidrocarburos y nitrilos, al igual que un poco de dióxido y monóxido de carbono.

A Navarro le interesaba saber, porque fue él quien propuso el proyecto, qué sucedía con los componentes de esta atmósfera, cómo se transformaban y en qué se acababan convirtiendo. La idea era hacer simulaciones en el laboratorio, “que apenas estaba iniciando actividades”.

El tema era incipiente a nivel de investigación en México. “Para

la tesis de maestría, que inicié en 1996, reporté que podíamos hacer la simulación de ese ambiente. Confirmábamos la presencia de hidrocarburos y de los nitrilos, y hacíamos un estudio semi cuantitativo. Explicamos cómo se formaban, a través de qué mecanismo, utilizando las descargas corona para hacer estas simulaciones”.

Podían determinar la cantidad de energía que depositaban a la atmósfera simulada con la que trabajaban, lo que les permitía calcular un rendimiento energético, es decir, cuántas moléculas se sintetizaban por unidad de energía y cómo una molécula sencilla se transformaba en otras más complejas.

“A raíz de estos estudios nos dimos cuenta de que si las irradiaciones se dejaban por un periodo más largo, de varios días o semanas, esos componentes gaseosos iniciales comenzaban a condensarse, a aglutinarse y formaban sólidos, que en el len-

guaje de la atmósfera de Titán, se conocen coloquialmente como tholins y más formalmente aerosoles”.

Esa tesis de maestría abrió el camino para que pudiera continuar con un proyecto de doctorado, que se enfocaría en el estudio de los aerosoles y la presencia de otras formas de energía en la atmósfera de Titán. Concluida la maestría en 1998, tuvo la oportunidad de efectuar un doctorado conjunto entre la UNAM y la Universidad de París XII, en Créteil, Francia.

“Me dio la oportunidad de asistir al laboratorio del doctor François Raulin, a desarrollar experimentos y a aprender más sobre el ambiente de Titán, que era lo que nos interesaba. Esos proyectos conjuntos nos abrieron una panorámica muy amplia, tanto a no-

sotros como estudiantes, como a los líderes de cada grupo de investigación”, asienta.

Al concluir el doctorado conjunto en el año 2000, la doctora Ramírez Jiménez laboró durante un año en el ICN, precisamente en el laboratorio del doctor Navarro, quien para ese momento realizaba una estancia sabática en el laboratorio del doctor Mario Molina, Premio Nobel de Química. Gracias a las incipientes comunicaciones a distancia, como el correo electrónico y el fax, “que ahora ya es una cosa de museo”, mantuvieron contacto y dieron continuidad a sus investigaciones de manera remota.

Formas de vida extrema

Casi al terminar ese primer año de trabajo en el Instituto de Ciencias Nucleares, Ramírez Jiménez

recibió una invitación para ocupar una plaza de tiempo completo en el Centro de Investigaciones Químicas de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos. “En su momento fue muy afortunado para mí, porque tenía la oportunidad de comenzar un espacio propio, de generar mi grupo de investigación. Decidí aceptar esta propuesta y comenzar en Cuernavaca. El doctor Navarro y yo manteníamos comunicación a distancia. Él había regresado de su estancia sabática y empezaba a involucrarse con la NASA y con investigadores de Estados Unidos, para los proyectos en Marte”, indica.

Si bien aún tenían trabajos y publicaciones conjuntas, cada uno fue tomando su ruta. “Aunque no teníamos colaboraciones académicas, cuando nos veíamos



Interpretación artística de la superficie de Titán.

Titán es un cuerpo celeste único, con una atmósfera muy densa de coloración anaranjada. Tiene algo menos de la mitad del tamaño de la Tierra y es casi tan grande como Marte.



Doctor Rafael Navarro González en el Laboratorio de Química de Plasmas y Estudios Planetarios del Instituto de Ciencias Nucleares.

nos saludábamos con mucho gusto. Siempre le agradecí todo lo que me enseñó, todo el panorama que me permitió conocer”, rememora con emoción, al tiempo que reconoce la labor hecha por Navarro González para preparar a investigadores en el campo de la astrobiología.

Ahora, en la UAEM, continúa con sus estudios sobre las atmósferas planetarias; más recientemente se ha enfocado en los organismos extremófilos. En particular se ha centrado en un tipo especial de bacterias, las halófilas, que son aquellas habituadas a desarrollarse en ambientes con altas concentraciones salinas. De hecho, se las encuentra en desiertos, océanos y lagunas saladas.

La doctora Ramírez las utiliza como modelos biológicos para ver si pueden adaptarse a las condiciones de salinidad, ocasionadas por sulfatos y percloratos en la superficie de Marte, o a las del océano de agua líquida de Europa, una de las lunas de Júpiter, que se estima está enriquecido con sulfato de magnesio.

“A mí me interesa saber si esta maquinaria que utilizan en la Tie-

rra, la pudieran utilizar en esos escenarios de interés astrobiológico y ver cómo lo harían, si cambian en algo o no. Estudiamos si estas bacterias crecen o no, hasta qué condición, en qué concentración, qué estrategia de adaptación utilizan. En general, estas bacterias acumulan unas moléculas llamadas solutos compatibles, que estudiamos con herramientas de caracterización química para identificar su eventual presencia, cuáles están y en qué cantidad. Continúo en la línea de la astrobiología”, nos precisa.

El papel de ciencia básica

Para la doctora Ramírez, líneas de investigación como la que desarrolla fortalecen la ciencia básica.

“Siempre argumentamos que la ciencia básica no tendría por qué tener una justificación, no tendríamos por qué decir ‘Lo hacemos por esto o por aquello’, porque el conocimiento íntimo, más profundo de las cosas, es lo que después te permite desarrollar tecnología, ciencia aplicada o darle alguna utilidad. Hay cosas que se estudiaron hace 50 u 80 años, y que apenas hoy se les está en-

contrando alguna aplicación. Lo que desarrollamos es ciencia básica.”

La astrobiología es multidisciplinaria, al incorporar la biología, la química, la astronomía, la ingeniería y la geología, entre otras áreas de conocimiento.

“Me da un marco donde puedo hacer que los estudiantes piensen, discutan y reflexionen que a veces en sus licenciaturas no han tenido la oportunidad de ver o de analizar con detalle aspectos centrales del conocimiento y además ese conocimiento se puede orientar hacia objetivos específicos. Por qué los seres vivos somos como somos o cómo le haríamos para encontrar evidencias de vida en otro planeta o cómo pueden contribuir en esta búsqueda de vida, preguntas que en ciencia se han mantenido abiertas por muchos años, ya que encontrarles una respuesta no es tarea fácil”, reconoce.

Muchas de esas dificultades solo se pueden abordar desde el punto de vista de la ciencia básica, de razonar, de por qué la vida en la Tierra está basada en el carbono y no en otro elemento químico, arguye.

“El carbono tiene ciertas características, que no tienen otros elementos. La astrobiología proporciona esa plataforma que a mí me gusta porque es como un circo de varias pistas. Al final lo que buscamos es responder preguntas puntuales, pero tenemos que hacer malabares en diferentes pistas, y eso a mí me gusta muchísimo”, apunta.

Una de las líneas de investigación más robustas del doctor Navarro era la búsqueda de vida fuera de nuestro planeta, para lo que se apoyó en la identificación de especies extremófilas.

En la búsqueda de cómo podemos responder a la pregunta de si hay o no vida fuera de la Tierra, Navarro González comenzó a in-

teresarse en la simulación de ambientes que pudieran reproducir condiciones similares a aquellos donde habrían aparecido los primeros organismos; de hecho, los trabajos iniciales de investigación que el doctor efectuó se relacionan con el efecto de los relámpagos en la atmósfera de la Tierra primitiva.

El estatus sobre cómo se perfila la búsqueda de vida fuera de la Tierra es pertinente ahora que nuestra especie está a punto de embarcarse en la aventura de enviar misiones tripuladas a Marte. Esa pregunta sigue latente en el campo científico porque aún no tiene una respuesta, sostiene la doctora Ramírez Jiménez.

“Hasta ahora, la Tierra es el único objeto planetario donde, de manera contundente y a escala científica, hay seres vivos, de diversos tamaños y formas. Somos el único caso de vida en el universo que conocemos y que hemos podido explorar a través de misiones robóticas y de observaciones”, acota.

La pregunta sigue abierta -añade- y hay muchos científicos trabajando en ella, no solamente estudiando Marte, sino explorando otras rutas de investigación, como la búsqueda de exoplanetas, que abren otros horizontes y escriben nuevas páginas de nuestra aventura sideral, para saber si hay planetas semejantes al nuestro.

Otro camino lo representa el estudio de los organismos extremófilos, que nos ayudan a comprender los

límites de la vida y abren la posibilidad a imaginarnos alternativas. “Quizás hay una vida que no esté basada en carbono o que no utiliza agua. Todo esto todavía está a nivel de hipótesis, hasta que se tengan las evidencias, los estudios y la verificación, pero son ideas, temas que conducen la investigación actual”, señala.


Retrato de Rafael Navarro

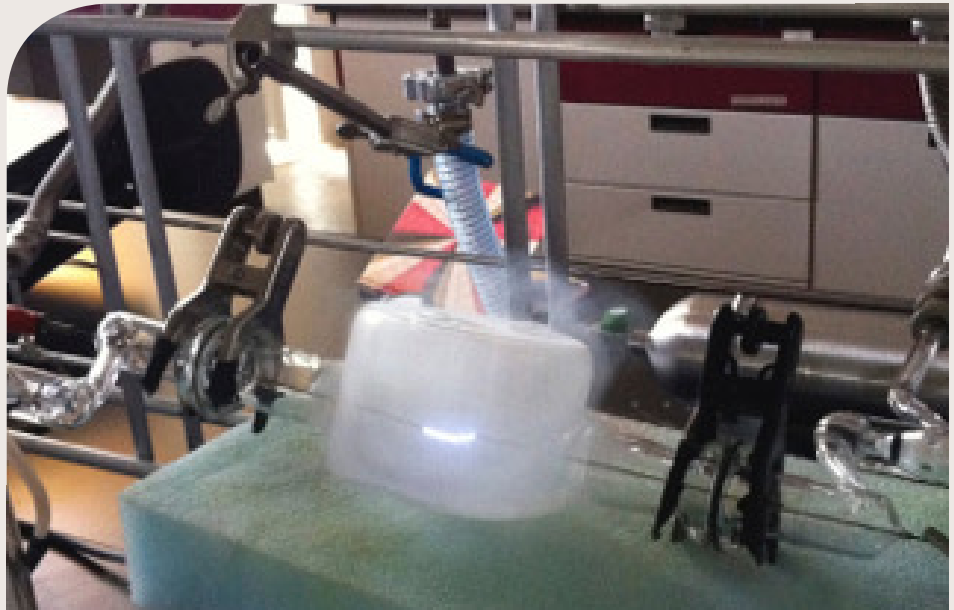
La doctora Sandra Ramírez tiene muy presente una anécdota relatada por Navarro González, con la que él explicaba su interés por la investigación a la que dedicó su vida profesional: “Recuerdo que contaba que pudo ver la llegada del hombre a la Luna, a través de la televisión, y que ese fue el momento que marcó definitivamente su trayectoria académica, e incluso muchos aspectos de su vida personal”.

Además, evoca a Rafael Navarro como una persona muy discipli-

nada, dedicada a las ideas que generaba, con una impresionante capacidad de trabajo.

“Yo me considero muy afortunada, porque lo conocí en sus inicios; el trato y el contacto fue muy cercano. En varias ocasiones tuve la oportunidad de convivir con su familia, con su esposa y sus hijos, desde que eran pequeños. Tuvimos una cercanía muy valiosa, que atesoro y aprecio muchísimo”.

La investigadora de la UAEM reconoce que Navarro González era sumamente hábil y diligente: “Organizaba seminarios de grupo, donde había que leer y estudiar mucho la literatura científica, y luego efectuar una amplia discusión; era muy agradable y amable, porque sabía guiarte. En cuanto al laboratorio, fue muy dedicado, trabajador y disciplinado, y eso se refleja en toda su trayectoria y en los logros que tuvo”, concluye. 



Recreando la atmósfera de Titán en el Laboratorio de Simulación de Ambientes Planetarios, a cargo de la doctora Sandra Ramírez Jiménez, en el Centro de Investigaciones Químicas de la UAEM. La atmósfera de Titán se simula con una mezcla de nitrógeno molecular (N_2) y metano (CH_4) contenida en un recipiente hermético que se somete a descargas eléctricas a una temperatura de $-150\text{ }^\circ\text{C}$.

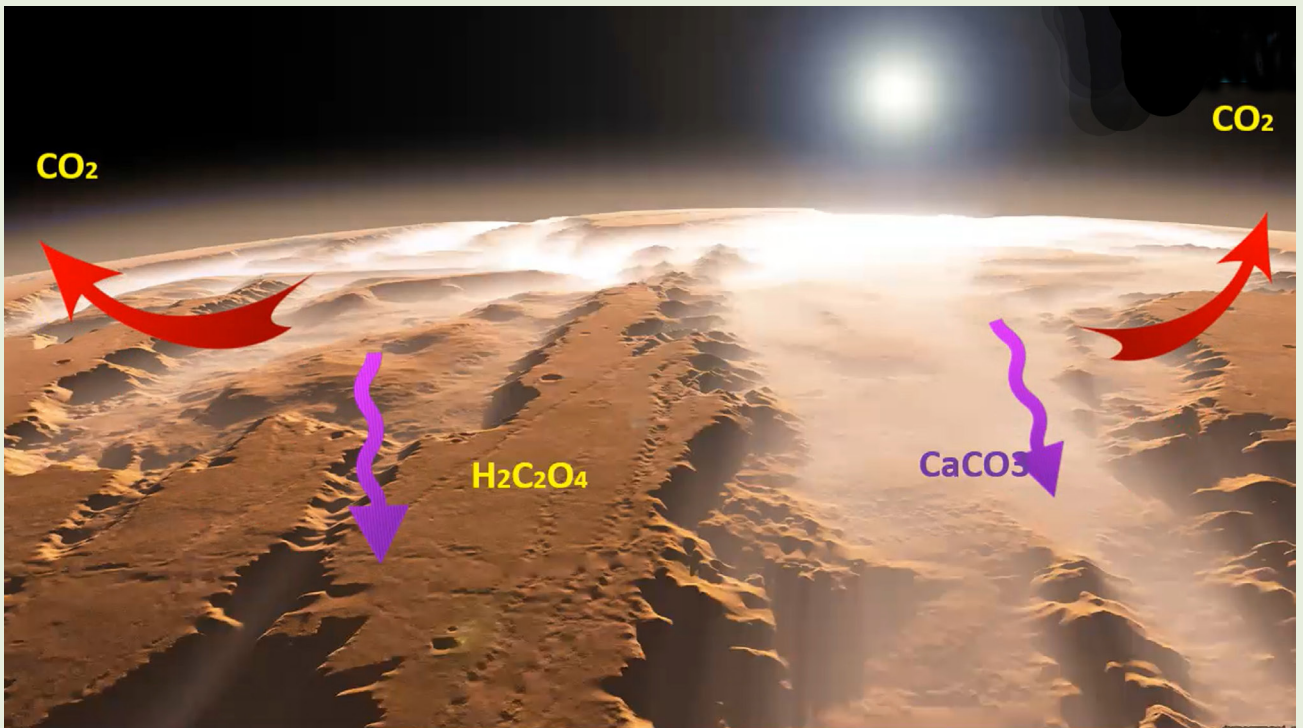
GRAN MAESTRO DE CIENCIAS PLANETARIAS

Sandra Vazquez Quiroz

La curiosidad del ser humano por saber si hay algún tipo de manifestación de vida en Marte, el segundo planeta más cercano a la Tierra después de Venus, lo ha impulsado a realizar varias misiones a través de sondas y rovers (robots exploradores). La información recabada a lo largo de varias décadas, desde 1960, ha permitido a los científicos experimentar en lugares análogos a Marte en la Tierra. José Alfredo Rojas Vivas, del Instituto de Ciencias Nucleares (ICN)



El doctor José Alfredo Rojas Vivas observando muestra de un orgánico irradiado en presencia de minerales.



“Esquema de la incidencia de la radiación cósmica galáctica en la superficie marciana, la cual genera la degradación de compuestos orgánicos e inorgánicos que pudieron provenir de organismos vivos. El proceso genera dióxido de carbono (CO_2) como producto final, contribuyendo a su abundancia atmosférica en el planeta rojo.” DGDC.

de la UNAM, se ocupa de estudiar al Planeta Rojo desde la Tierra; actualmente se encuentra en la analesa de defender su tesis doctoral, titulada “La radiación ionizante y sus efectos en la materia orgánica en diferentes suelos análogos marcianos con implicaciones en la vida pasada de Marte”. Acota que aunque el título es tentativo, su objetivo es simular la irradiación que ha tenido el suelo marciano desde que perdió su atmósfera y el agua líquida.

El trabajo de investigación de José Alfredo fue dirigido por el astrobiólogo Rafael Navarro González (1959-2021), investigador del ICN y con quien logró entablar una relación amistosa más allá de la academia. En entrevista para *El faro*, Rojas Vivas señala que fue el reconocido científico quien le dio la oportunidad de hacer trabajo de investigación en la ciencia planetaria.

“Para mí fue un enorme y gran honor trabajar con él. Siempre que platicábamos aprendía muchas cosas nuevas; en cada reunión, en cada seminario, en cada sesión y en cada plática, enseñaba. Me despertó la inquietud por aprender y saber más, entender por qué suceden ciertas situaciones en

Marte y en otros cuerpos del Sistema Solar. Me dejó una gran lección de vida. Siempre hacía referencia al camino que tuvo que andar para llegar a donde estaba. Lo considero un modelo a seguir”, refiere.

Rojas Vivas rememora: “Desde niño me inquietaba saber de qué estaban constituidos los planetas, cómo funcionaban el Sistema Solar y el Universo. Afortunadamente conocí al doctor Navarro, quien me dio la oportunidad de empezar a descubrirlo”.

Sobre su trabajo con los suelos análogos, José Alfredo Rojas asienta que en la Unidad de Laboratorios “Dr. Rafael Navarro González” (antes Laboratorio de Química de Plasmas y Estudios Planetarios) se recolectan muestras de suelos análogos, como los del desierto de Atacama y del Pico de Orizaba, debido a que encierran condiciones muy parecidas a los del Planeta Rojo. Destaca que el suelo del Ciltlaltépetl en particular sirve para estudiar la posible terraformación (modificación de las condiciones de un planeta que no es la Tierra) de Marte.

Ante ello, Rojas Vivas refiere: “mientras no se encuentre vida en Marte como la conocemos, se puede pensar en alguna colonización de este planeta, con-

Unidad de Laboratorios
"Dr. Rafael Navarro González"
(antes Laboratorio de Química
de Plasmas y Estudios
Planetarios) en el Instituto
de Ciencias Nucleares de la
UNAM.



tinuando proyectos de investigación encaminados a generar ambientes más amigables para el ser humano". El experto destacó que la idea de terraformar Marte se discute dentro de la ética planetaria y que la terraformación forma parte de un futuro lejano.

José Alfredo Rojas lamenta que su tutor principal no haya podido ver concluido su trabajo de tesis doctoral, el cual se apoya ahora en tutores secundarios, como la doctora Alicia Negrón Mendoza, del Instituto de Ciencias Nucleares, y el doctor Sergey Sedov, del Instituto de Geología.

Sobre los proyectos que el doctor Navarro mantenía con la NASA, Rojas Vivas indica que el desaparecido investigador los mantenía bajo un esquema de confidencialidad: "El doctor Navarro no intercambiaba este tipo de información". Sin em-

bargo, las líneas de investigación desarrolladas en el entonces Laboratorio de Química de Plasmas y Estudios Planetarios tenían mucha relevancia y siempre estaba al pendiente de ello. Apunta que "el doctor Navarro siempre se mostraba interesado en saber los avances de nuestros proyectos, por lo que las reuniones de trabajo con él servían para dialogar nuestras dudas y exponer las dificultades que se presentaban en el día a día del laboratorio". Rojas Vivas expresa que "a pesar del semblante serio que tenía el doctor Navarro, en los momentos que compartimos siempre demostró un trato amigable y caluroso, fue muy empático conmigo, porque me escuchaba y trataba de orientarme en los problemas del tipo personal. Las puertas de su cubículo siempre estuvieron abiertas para todos nosotros". 🇲🇽



Sistema de obtención de agua trides-tilada del laboratorio de Evolución Química. Dispositivo esencial para purificar el agua utilizada en experimentos de radiación gamma, permitiendo estudiar la radiólisis del agua y su impacto en la estabilidad de compuestos orgánicos en sistemas acuosos.

UNA ESTANCIA DE VERANO PARA SIEMPRE

Sandra Vázquez Quiroz

En 1996, una profesora de biología del Colegio de Ciencias y Humanidades alentó a un grupo de estudiantes a explorar el catálogo de científicos que abrían las puertas de sus laboratorios para las estancias cortas del Programa Jóvenes hacia la Investigación. Entre ellos estaba Paola Molina Sevilla, de apenas 16 años, quien decidió escribir una carta al astrobiólogo universitario Rafael Navarro González. Contra toda expectativa, su carta obtuvo respuesta. Poco después, Paola se encontró frente al investigador, quien sostenía su carta durante la entrevista, tal como recuerda en conversación con ***El faro***.

“Acudí a la entrevista y llevé mis calificaciones, fue lo primero que me pidió. Noté que el doctor Navarro tenía la carta con él y le llamó la atención mi inquietud por los plasmas; le comenté que ya había escuchado de ellos”.

El doctor Navarro la invitó a presentarse al día siguiente en el Laboratorio de Química de Plasmas y Estudios Planetarios, en Ciudad Universitaria. Con él -relata- todo parecía sencillo. Su claridad para explicar y su innata capacidad para motivar a los estudiantes la impulsaron desde el inicio. Le propuso quedarse ese verano, con la única condición de mantener buenas calificaciones y concluir sin problemas el bachillerato. Ese estímulo bastó para orientar su vocación: Paola decidió estudiar química. A partir de ahí, comenzó su travesía científica, que con el tiempo la llevaría a colaborar con figuras como Patrice Coll, de la Agencia Espacial Europea, y Chris McKay, de la NASA.

Un laboratorio que se convirtió en casa

Al finalizar la estancia de 1996, Navarro la invitó a seguir colaborando. Durante su último año de bachillerato, Paola acudió todos los días al laboratorio, hasta ingresar formalmente a la Universidad. En 1997, el Navarro González inició un año sabático para trabajar con el doctor Mario Molina en temas atmosféricos. Durante ese periodo, ambos realizaron experimentos únicos: irradiaciones jamás



Los llamados *sprites* y *blue jets* son descargas eléctricas de gran escala que ocurren muy por encima de las nubes de tormenta.

hechas en laboratorio, pero detectadas en transbordadores que estudiaban las auroras boreales. Eran los llamados *sprites* y *blue jets*, descargas eléctricas de gran escala que ocurren por encima de las nubes de tormenta y que se sospechaba podían modificar la electrostática de la atmósfera alta. Querían evaluar si estos fenómenos afectaban la capa de ozono.

Al regreso del doctor Navarro, Paola volvió al laboratorio y participó en el diseño del dispositivo experimental para estudiar estas descargas luminosas y efímeras que se producen momentos después de un potente rayo positivo que va de la nube

al suelo. Recuerda que, mientras condensaba gases, percibió un olor desagradable. Llamó al doctor Navarro quien, gracias a su experiencia, identificó que estaban produciendo ozono en cantidades tan elevadas que era difícil manejarlo. Por ello, tuvieron que suspender temporalmente esas simulaciones, las cuales fueron retomadas en 1999.

No obstante, las investigaciones realizadas por Navarro González con el Premio Nobel Mario Molina fueron muy fructíferas. Tras la entrega de dicho galardón, derivaron en al menos tres publicaciones sobre temas esenciales: el papel de los relámpagos volcánicos en la fijación de nitrógeno, la formación de óxido nítrico en descargas eléctricas, y la relevancia de estos relámpagos en la química atmosférica del Arqueano.



De la Tierra a Marte

Uno de los primeros lugares que Navarro mostró a Paola dentro del Instituto de Ciencias Nucleares fue la biblioteca. Para él, ese espacio era medular en la formación de un científico.

“Siempre nos tuvo mucha paciencia; nunca me restringió el uso de ningún instrumento por ser estudiante. Desde el principio me dejó trabajar con todos los equipos y siempre cuidó los aspectos de seguridad”. A finales de 1999, Navarro González fue invitado a una expedición al desierto de Atacama, en Chile. Convocó a su equipo a un nuevo proyecto cuyo objetivo era reevaluar los resultados de la misión Vikingo de la NASA. De esa investigación surgió, en 2003, el artículo *Mars-like soils in the Atacama Desert, Chile, and the dry limit of microbial life*, publicado en la revista



Biblioteca del Instituto de Ciencias Nucleares en la UNAM.



Science. “Navarro comentaba con frecuencia que, si la misión Vikingo hubiera llegado a la zona más árida del Atacama, habría concluido que no existe vida en la Tierra”, comparte la investigadora.

La publicación catapultó las colaboraciones de Navarro González con la NASA. Sus resultados mostraron que ciertos factores -desde técnicas de análisis hasta la presencia de compuestos específicos en los suelos- podían impedir detectar material orgánico y, con ello, posibles rastros de vida.

A raíz de ese trabajo, y en conjunto con el doctor Chris McKay de la NASA, se impulsaron más investigaciones sobre suelos análogos. Hoy, el desierto de Atacama es considerado el mejor ambiente análogo de Marte, y a Navarro González, pionero en México en este campo de investigación.

Otro estudio clave desde el laboratorio del doctor Navarro fue el análisis de las pruebas de la misión Fénix (2004), que detectó la presencia de percloratos en el suelo marciano. Con esos resultados replicaron los experimentos de pirólisis de la misión Vikingo, añadiendo perclorato a suelos análogos. Obtuvieron cloro metano, diclorometano y otros compuestos, tal como lo había hecho el instrumental de la Vikingo treinta años antes.

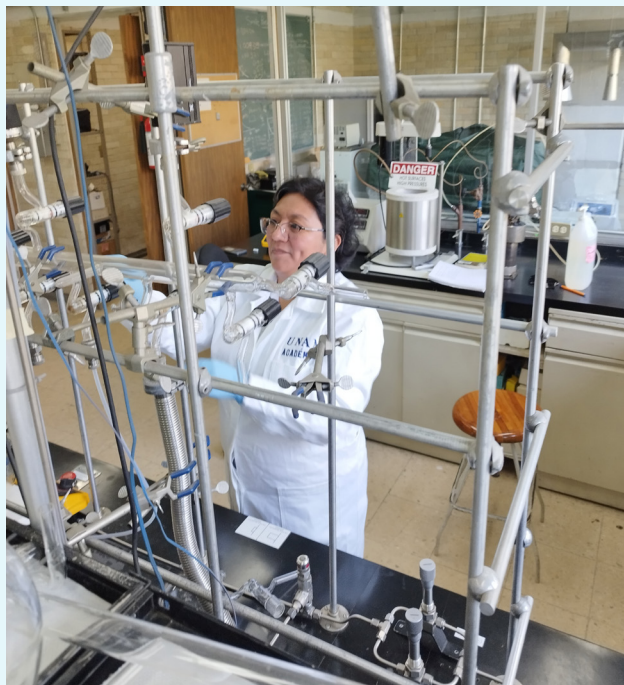
“Cuando el perclorato se calienta, se descompone en cloro y oxígeno. Estos, al unirse con compuestos orgánicos, generan combustión, de la cual se obtiene CO_2 y agua -principalmente- y en menor proporción cloro metano y diclorometano”.

Estos experimentos resolvieron más de tres décadas de debate. En su momento, se creyó que Vikingo había fallado: “que su cámara parecía

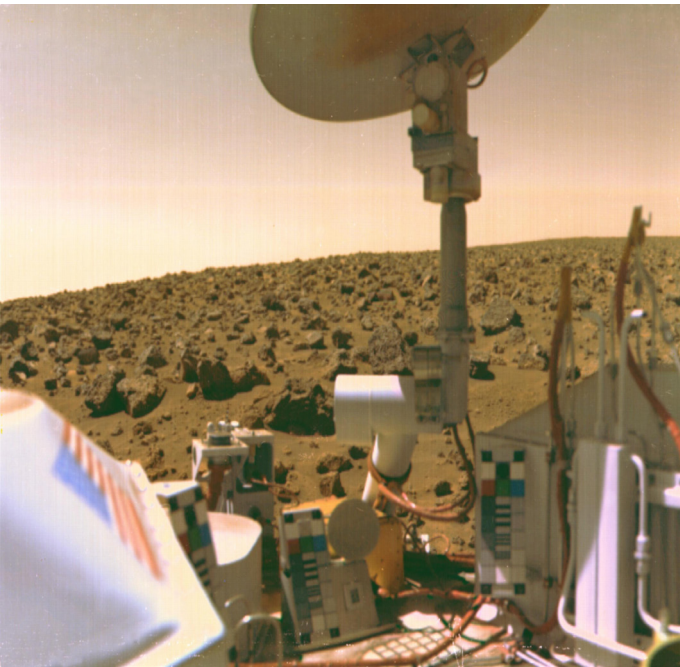
no ser hermética y se interpretó que la abundancia de CO_2 detectada, propia de la atmósfera de Marte, era contaminación atmosférica, por lo que probablemente no había presencia de elementos orgánicos en su superficie. Más tarde, al identificar la presencia de compuestos clorados, se confirmó el buen funcionamiento de los equipos, pero se pensó que estos eran remanentes de los productos de limpieza aplicados a los instrumentos. Los estudios encabezados por Navarro demostraron que no fue así”, comparte Molina Sevilla.

Paola aclara que ella no participó directamente en esas réplicas -realizadas por su compañero Edgar Vargas y el doctor Navarro- pero sí colaboró en un estudio en los suelos del Pico de Orizaba como modelo para la terraformación de Marte.

Los resultados obtenidos por el doctor Navarro lo colocaron en un lugar privilegiado dentro de las misiones espaciales, especialmente en la misión *Curiosity*. Cuando la NASA decidió enfocar sus esfuerzos en comprender la historia del agua en Marte, ante la dificultad de detectar compuestos orgánicos, la experiencia del investigador fue nuevamente determinante. “Se piensa que los robots son autónomos, que ellos toman la muestra, identifican y analizan lo que hay en los suelos, pero no es así. Debemos idear experimentos con las técnicas que llevará la misión y, con ellas, identi-



Doctora Paola Molina en el Laboratorio de química de plasmas y estudios planetarios, hoy llamada Unidad de Laboratorios Rafael Navarro.



El legado de un maestro

Paola destaca que uno de los rasgos más admirables de Navarro González era su capacidad polifacética como investigador. “De su mano aprendí mucho, como científica y como ser humano. Espero tener la capacidad de motivar a otros alumnos y encaminarlos al fascinante mundo de la ciencia, así como él me motivó a mí, para que sigan haciendo ciencia de frontera con temas tan innovadores como los que él desarrolló”.

Es difícil encontrar a alguien con la amplitud intelectual del doctor Navarro: en su laboratorio se investigaron temas sobre búsqueda de vida en Marte, origen de la vida, química atmosférica y, en algún momento, cuestiones ambientales junto con Mario Molina.

Paola lamenta que su muerte prematura dejara proyectos inconclusos: el estudio de la influencia de los relámpagos en la evolución de la atmósfera actual y una propuesta para iniciar una red de monitoreo de relámpagos, que ya no pudo concretarse.

Aun así, su legado permanece vivo en cada estudiante, en cada experimento y en cada colaboración que marcó el camino de la astrobiología en México. 🇲🇽

ficar los minerales que se forman en presencia de agua líquida”.

Molina Sevilla explica que para Curiosity trabajaron con un equipo térmico similar al de este robot, recreando los experimentos que realizaría sobre Marte. Así identificaron minerales como los nitratos. “Fue un periodo de trabajo arduo, meticuloso y bajo estricta confidencialidad”, asegura la joven investigadora.



Arriba. La primera nave espacial en aterrizar con éxito en Marte, Vikingo 1, formó parte de una misión de dos partes para investigar el Planeta Rojo y buscar signos de vida.

Abajo. El doctor Navarro realizó importantes investigaciones sobre el papel de los relámpagos volcánicos y atmosféricos en el origen de la vida en la Tierra.



Gran Hallazgo Científico
 +
 Aceleradores de Partículas
 +
 ¿Qué es un eclipse solar?
 +
 El Clima Espacial



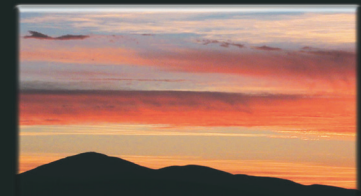
Boletín informativo de la Coordinación de la Investigación Científica
 Ciudad Universitaria, 7 de junio de 2007, Año 3, Número 4




Colonización de Marte
 Nuevo planeta con atmósfera fuera del sistema solar
 Historia de la medición del tiempo
 Clonación



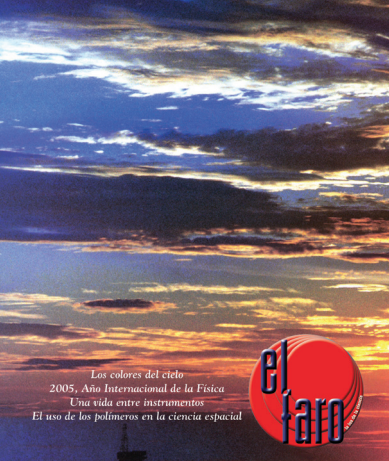
Boletín informativo de la Coordinación de la Investigación Científica
 Ciudad Universitaria, enero de 2005, Año 1, Número 30




Buscando un ambiente análogo al de Marte en la Tierra
 +
 Larissa Adler Lomnitz distinguida por el ICA
 +
 Erase una vez un protelmólogo...
 +
 Los hongos y su ambiente, una perspectiva legal




Boletín informativo de la Coordinación de la Investigación Científica
 Ciudad Universitaria, noviembre 6 de 2003, Año 3, Número 22



Los colores del cielo
 2005, Año Internacional de la Física
 Una vida entre instrumentos
 El uso de los polímeros en la ciencia espacial



Boletín informativo de la Coordinación de la Investigación Científica • Ciudad Universitaria, enero 6 de 2005, Año IV, Número 46



Una gran amenaza para el campo
 Mojama en la atmósfera de Marte
 El somocimiento científico en la literatura de viajes del siglo XIX
 Los nuevos misterios del universo




Boletín Informativo de la Coordinación de la Investigación Científica
 Ciudad Universitaria, agosto 4 de 2006, Año 3, Número 24




100



Boletín informativo de la Coordinación de la Investigación Científica • Ciudad Universitaria, 6 de agosto de 2009, año IX, no. 100-101



De la UNAM al Curiosity
 De niños y canículas



Boletín informativo de la Coordinación de la Investigación Científica Ciudad Universitaria, septiembre de 2014, año XIX, No. 162

RECORDANDO EN *EL FARO*

EN ESTAS PÁGINAS REUNIMOS UN CONJUNTO DE ARTÍCULOS QUE, A LO LARGO DE CASI DOS DÉCADAS, ILUMINARON EL CAMINO CIENTÍFICO DEL ENTRAÑABLE DOCTOR RAFAEL NAVARRO GONZÁLEZ. ENTREVISTAS, REPORTAJES, NOTAS Y TESTIMONIOS QUE DAN CUENTA DE LAS DISTINTAS ETAPAS DE SU TRABAJO Y DE LOS AVANCES QUE IMPULSÓ EN LA EXPLORACIÓN DEL PLANETA ROJO.

DESDE LOS PRIMEROS AÑOS DEL BOLETÍN IMPRESO HASTA SU EVOLUCIÓN DIGITAL, CADA UNA DE ESTAS PUBLICACIONES GUARDA UN FRAGMENTO DE SU PASIÓN, SU RIGOR Y SU INAGOTABLE CURIOSIDAD. JUNTAS, CONFORMAN UN HOMENAJE VIVO AL LEGADO DE UNO DE LOS INVESTIGADORES MÁS ADMIRADOS DE MÉXICO.

e
n
t
r
e
v
i
s
t
a

GRAN HALLAZGO CIENTÍFICO: UNA CRISIS DE NITRÓGENO PARA LA VIDA EN EL PRECAMBRICO

Por: Patricia de la Peña Sobarzo

El Nitrógeno es un elemento esencial para la vida y generalmente la ausencia de éste, impide el desarrollo de los ecosistemas terrestres. El nitrógeno (N) como elemento se encuentra principalmente en la atmósfera en forma molecular (N_2) siendo éste un gas prácticamente inerte. El proceso que controla el suministro de dicho elemento en los organismos, es la conversión de nitrógeno molecular a formas biológicamente asimilables como: el nitrato (NO_3) y el amoníaco (NH_2). A este proceso se le denomina fijación del nitrógeno.

Cuando se formó la Tierra, hace aproximadamente 4500 millones de años, la atmósfera estaba compuesta principalmente por vapor de agua, bióxido de carbono y nitrógeno. Al disminuir los impactos de asteroides y de cometas en la Tierra, la temperatura del planeta empezó a descender lo suficiente como para permitir la existencia de agua líquida. En ese momento todo el vapor que estaba en la atmósfera se condensó, formando los océanos, y lo que dejó atrás fue una atmósfera rica sólo en dióxido de carbono (CO_2) y pequeñas cantidades de nitrógeno. En ese momento la presión de la atmósfera era muy alta -de 100 atmósferas o menos-. En esa atmósfera primitiva, los relámpagos -tal y como se producen en la actualidad- convertían al nitrógeno atmosférico en formas reactivas esenciales para la formación de la vida.

Los primeros seres que surgieron eran heterótrofos, es decir, requerían asimilar los alimentos que estaban dispo-

nibles en el ambiente. Una función primordial de los relámpagos, era aportarles ese nitrógeno reactivo esencial para la vida. Sin embargo, la atmósfera del planeta continuó evolucionando y cambió de una atmósfera rica en CO_2 a una atmósfera rica en nitrógeno molecular, hace aproximadamente 2200 millones de años. En esa transición, cuando la composición de CO_2 disminuyó a más del 20% ocurrió una caída en la producción del nitrógeno reactivo en la atmósfera que ocasionó una crisis, que aún no sabemos cuánto tiempo duró. Según cálculos se puede suponer que duró 100 millones de años o menos.

Esta crisis de disponibilidad de nitrógeno reactivo para la biósfera temprana pudo haber ocasionado un desequilibrio ecológico donde muchos organismos murieron, sin embargo, provocó que algunos otros desarrollaran ciertas estrategias para sobrevivir, logrando convertir al nitrógeno molecular en amoníaco a través de una ruta biológica.

Las evidencias de esta investigación indican que antes de esa crisis los relámpagos convertían el nitrógeno en óxidos de nitrógeno solubles en agua, que también podían ser absorbidos por los organismos una vez convertidos en amoníaco.

Este hallazgo singular, nos dice el doctor Rafael Navarro-González, "lo encontramos estudiando experimentalmente la química de los relámpagos en el Laboratorio de Química de Plasmas y Estudios Planetarios del Instituto de Ciencias Nucleares de la UNAM en un proyecto conjunto con la NASA". El doctor Navarro, junto





Escanea para leer el número completo.

con sus colegas, Delphine Nna Mvondo, estudiante de posgrado del mismo laboratorio y el doctor Christopher McKay del Centro de Investigaciones Ames de la NASA, observaron que conforme evolucionó la atmósfera de la Tierra primitiva y pasó de ser rica en CO_2 a rica en N_2 se produjo un cambio importante en la química de los relámpagos, lo que ocasionó una menor producción de nitrógeno reactivo conduciendo a que los organismos carecieran de esa fuente; ahí es donde entraron en crisis y esto explicaría el origen tardío de la fijación biológica del nitrógeno. Además,



encontraron que el producto principal formado durante la transformación de la atmósfera de CO_2 a N_2 , era siempre el óxido nítrico (NO). En una atmósfera rica en CO_2 , la tasa global de producción de NO era de 100 millones de toneladas al año. Para cuando los niveles de CO_2 descendieron en más de un 20%, esta producción de NO bajó a un millón de toneladas al año. Esa disminución de dos órdenes de magnitud es significativa para que hubiera ocasionado una crisis de nitrógeno.

Hasta antes de este hallazgo las ideas convencionales respecto al origen de la vida, han sostenido que cuando aparecieron los primeros seres vivos, éstos rápidamente agotaron todos los nutrientes que había a su alrededor, ocasionando una crisis energética que genera la fijación biológica del nitrógeno y la fotosíntesis.

Lo que el doctor Navarro y sus colegas encontraron fue que las fuentes abióticas provenientes de la atmósfera fueron lo suficientemente altas para dar origen a la vida y mantener a las poblaciones microbianas por cientos de millones de años. La crisis del nitrógeno se produce por un cambio en la composición atmosférica al disminuir la cantidad de CO_2

ocasionando el desarrollo de una ruta metabólica para la fijación del nitrógeno. Hay evidencias de otras áreas que sugieren que la fijación biológica del nitrógeno es muy antigua. Algunos autores sugieren que esta propiedad está relacionada con el último ancestro común a todos los seres vivos, pero lo que el doctor Navarro y sus colegas infieren es que no es una propiedad del último ancestro, sino que surgió después de la diversificación de los seres vivos.

“Nuestro descubrimiento ha cambiado el concepto que tenemos del origen de la fijación biológica del nitrógeno e ilustra la estrecha co-evolución de las rutas metabólicas y el ambiente de la Tierra primitiva.”

El doctor Navarro y sus colegas esperan continuar con sus investigaciones apoyados como hasta ahora por la UNAM, el CONACyT, y la NASA a través del programa de Astrobiología.

Dada la importancia de este singular hallazgo, la Revista **Nature** emitió un boletín informativo internacional para su cobertura a partir del 5 de Julio, fecha en que **El Faro** lo publica conjuntamente con la NASA y la misma revista científica.



Colonización de Marte

Por Patricia de la Peña Sobarzo

reportaje

El hombre siempre ha tenido espíritu de exploración, de colonizar nuevas fronteras. Con el avance de las comunicaciones hoy en día se puede tomar un avión, dar la vuelta al mundo y ver que en dimensión, la Tierra es realmente pequeña. Por ello, con el afán de buscar otros mundos, se han llevado misiones al espacio. Ahora, una de las posibilidades de colonización fuera de nuestro planeta, lo constituye el planeta rojo: Marte.

El doctor, Rafael Navarro González, investigador del Instituto de Ciencias Nucleares de la UNAM y creador del laboratorio de Química de Plasmas y Estudios Planetarios, único en su género en Latinoamérica, conversó con **El faro** para hablarnos de un importante proyecto enfocado a la terraformación (colonización) de vida en Marte.

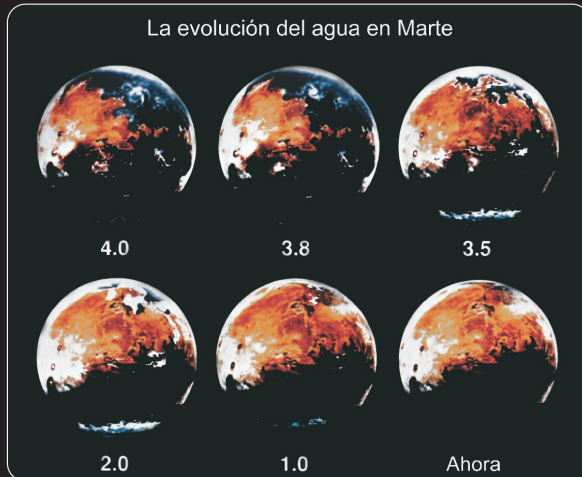
Desde hace mucho tiempo Marte siempre ha sido un planeta muy enigmático. Existen evidencias considerables de que alguna vez tuvo un clima mucho más benigno, y un medio ambiente que ha motivado al hombre a la búsqueda de vestigios de vida en ese lugar. Sin embargo, por las condiciones de temperatura y presión se ha descartado esa posibilidad. Aunque, eso hace pensar que en un momento dado se pudieran cambiar las condiciones para que los humanos pudieran vivir primero en una ciudad tipo burbuja donde se requeriría tener una atmósfera artificial, pero posteriormente en un ambiente muy similar al de la Tierra, donde se pudiera respirar oxígeno de la atmósfera marciana, tal y como lo tenemos aquí.

La UNAM y la Universidad Veracruzana, junto con un grupo de Astrobiología de la NASA colaboran en ese proyecto, entre cuyos objetivos está el estudiar las condiciones en la que algunas plantas se desarrollan para que puedan llevarse eventualmente a Marte.

Navarro nos explica que para poder colonizar al planeta rojo se requerirían de varias etapas.

La primera es la más importante ya que la temperatura superficial y la presión atmosférica son bastante bajas, por lo que la mayoría de

La evolución del agua en Marte



los organismos que tenemos en la Tierra no podrían vivir allí. Por ello, sería necesario liberar gases de tipo superinvernadero para atrapar en la atmósfera la radiación infrarroja proveniente del Sol, con el fin de aumentar la temperatura superficial. Según cálculos, se ha estimado que tardarían aproximadamente unos 100 años para que la temperatura de Marte fuera lo suficientemente apropiada para que el agua que está actualmente congelada en los polos o en el subsuelo, se pudiera derretir y formar nuevamente océanos, tal como existieron hace 4,000 millones de años, cuando Marte era muy joven.

"En la Tierra la actividad industrial ha liberado una cantidad apreciable de bióxido de carbono; éste es un gas invernadero que atrapa parte de la radiación solar, no la deja salir de la atmósfera, y aunque es un efecto indeseable en la Tierra, para Marte sería un resultado inverso. Se necesitan liberar gases que tengan esa propiedad y que sean estables para que la radiación solar no los degrade.

La segunda etapa de la terraformación es llevar algunos organismos, particularmente bacterias que realicen fotosíntesis y liberen oxígeno, una vez que se haya obtenido agua líquida y una temperatura más tolerante. Se ha calculado que este proceso podría llevar aproximadamente 1,000 años.



Escanea para leer el número completo.

Navarro y su grupo realizan actualmente un estudio en el Pico de Orizaba, en Veracruz, para determinar cómo se relacionan las condiciones climáticas con los procesos metabólicos de algunas plantas.

"Nuestro proyecto, en particular con la NASA, consiste en estudiar la línea de los bosques en zonas alpinas cerca del ecuador. Se inició en marzo de 1999, cuando el doctor Christopher McKay se puso en contacto conmigo. El Pico de Orizaba es importante para estudiar las etapas más o menos tardías del proceso de terraformación en Marte, debido a que es la zona alpina cercana al trópico del Ecuador más alta del mundo, a 4,200 metros sobre el nivel del mar. La mayoría de los estudios sobre zonas

Hasta el momento, no hay ningún estudio sobre el crecimiento de coníferas en zonas alpinas a grandes altitudes y bajas latitudes. El primer paso de este proyecto fue colocar estaciones meteorológicas en las caras norte y sur del Pico de Orizaba, desde donde está el bosque, aproximadamente a 2,500 m, hasta la zona más alta donde se encuentra la línea de los árboles; es decir, donde desaparece la vegetación arbórea. Se pretende tener un registro de temperatura y presión para determinar cuáles son las condiciones límite que soportan los árboles y las plantas.

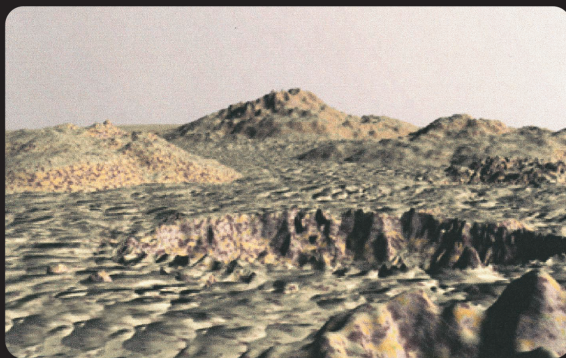
En esta primera fase del proyecto se estudiará la química del suelo para saber si los nutrientes limitan de alguna manera el crecimiento de árboles. Se ha visto que la composición química del suelo es básicamente la misma a diferentes alturas.

La diferencia más relevante es que en las zonas más altas la cantidad de materia orgánica en los suelos es mínima. El material es del tipo de arenas, pero tiene los elementos químicos para que los organismos sobrevivan.

Navarro tiene una hipótesis que intenta comprobar: la línea de los árboles en zonas alpinas se debe al colapso de la fijación biológica del nitrógeno que realizan las bacterias del suelo. Aunque el nitrógeno abunda en la atmósfera, la mayoría de los organismos no puede convertirlo en nitrógeno asimilable para construir aminoácidos u otras moléculas. Los árboles utilizan el amoníaco que fijan las bacterias del suelo. Esta ruta de fijación biológica del nitrógeno resulta ser muy costosa para los organismos. Se requieren 16 moléculas de ATP (adenosín trifosfato) para poder reducir una molécula de nitrógeno. Al requerir mucha energía, ésta ruta puede colapsarse cuando la temperatura u otro parámetro no es el óptimo. Probablemente no hay bosques a mayor altitud, porque la ruta fijadora del nitrógeno de bacterias colapsa y, al

no poder producir ese nitrógeno, los árboles ya no tienen los fertilizantes naturales necesarios para crecer.

Se han sembrado árboles a diferentes alturas y algunos han sobrevivido 100 o 200 metros sobre la línea de los árboles. Los que se han sembrado a mayor altura, definitivamente han muerto. Se cree que la línea de árboles funge como una zona de transición, donde las condiciones



alpinas se ha realizado en otras latitudes, principalmente en los Alpes Europeos, y en las montañas de Alaska y Canadá. La zona alta del Pico de Orizaba probablemente tiene las mismas condiciones climáticas que habrá en Marte después de iniciar el proceso de terraformación, y lo que se busca entender es qué limita el crecimiento de árboles en zonas alpinas para poder eventualmente llevar coníferas a Marte.



impiden que la línea de crecimiento de los árboles pueda ascender más.

El tiempo que les lleva a las plantas adaptarse a esas condiciones es de cientos de años; y ésta es una de las posibles explicaciones de por qué los árboles sembrados están sobreviviendo. La otra razón es que esos árboles cuentan con todos los nutrientes para que puedan desarrollarse. Queremos descartar de que no sea otra ruta la que afecta su crecimiento y que sea la del nitrógeno la que se colapsa.

En este año, los árboles sembrados han podido sobrevivir y ya empiezan a tener zonas de crecimiento. Hace falta más tiempo para comprobar que se pueden desarrollar en forma autónoma. Es un proyecto que por lo menos requiere hacer un estudio meteorológico para tener la variabilidad estacional y anual, y calcular una temperatura promedio a la que los árboles sobreviven. Los estudios preliminares indican que la temperatura idónea para el crecimiento de árboles en zonas alpinas es entre 5 y 7°C como promedio anual. Ésa sería la temperatura adecuada para que las bacterias fijadoras del nitrógeno puedan operar y dar los nutrientes a los árboles.

"Ahora, afirma Navarro, contamos con 5 años para hacer un estudio meteorológico más detallado. Hemos hecho análisis del contenido de materia orgánica en el suelo, se ve claramente que en la línea o en la zona donde hay bosques, la cantidad de materia orgánica en el suelo es muy abundante, y una vez que se rebasa la línea de los árboles, la cantidad de materia orgánica disminuye notablemente y eso se debe a que la vida que puede desarrollarse en esas zonas disminuye notablemente al ascender a esa altura.

Para comprobar la hipótesis de la fijación biológica del nitrógeno se busca alguna molécula (biomarcador) que sea específica de las bacterias fijadoras de nitrógeno y rastrearlo a

diferentes alturas. Lo que se espera es que ese biomarcador se encuentre en concentraciones elevadas en la zona boscosa y al rebasarla, la concentración debe decaer notablemente.

"Debemos encontrar zonas de transición donde por arriba no habrá concentraciones altas de estas moléculas, y por debajo la concentración será mayor. El objetivo es encontrar la línea donde pueden desarrollarse las bacterias fijadoras de nitrógeno en el Pico de Orizaba. Una vez que finalice nuestra investigación aquí, se extenderá a las montañas de todas las latitudes del mundo.

La meta final es poder aplicar esto en la terraformación de Marte. La última fase será la introducción de bosques. Sin embargo, este estudio tiene aplicación inmediata y de gran importancia para las personas que viven en México, como poder predecir qué efectos tendrá el calentamiento de la Tierra. El cambio climático es aún muy pequeño para que pueda notarse en selvas, o en algunas zonas del planeta; sin embargo, en las zonas extremas, como las zonas alpinas, los cambios de temperatura son más notables y un ascenso de un grado puede significar un desplazamiento de 100 ó 200 metros en la línea de los árboles. Por otra parte, lo que proponemos hacer es un mapeo satelital en la zona, ya que la tala continua de árboles afecta directamente este hábitat, y ello permitirá ver dónde y en qué coordenadas se localizan los árboles, y que vegetación había en la zona alta del Pico de Orizaba, ya que si se llega a acabar el bosque, todavía puede reconstruirse sembrando árboles, pero considerando los registros de los que tendríamos nosotros.

Por último, el Pico de Orizaba tiene el bosque tropical de coníferas más alto de todo el mundo y debería ser considerada tanto a nivel nacional como por la UNESCO, no sólo una reserva ecológica, sino como patrimonio de la humanidad."



BOLETÍN EL FARO NÚM. 32 NOVIEMBRE DE 2003.

reportaje
especial**Buscando un ambiente análogo al de Marte en la Tierra**

Por Patricia de la Peña Sobarzo

La Tierra no es más que un pequeño planeta entre los nueve que dan vueltas alrededor del Sol; y éste no es más que una de las 250 mil millones de estrellas que componen la Vía Láctea. A su vez, esta última es una más de quizá centenares de miles de millones de galaxias que forman el Universo.

Muchos científicos creen que es probable que exista una cantidad innumerable de planetas, además de la Tierra, que hayan presenciado el origen de formas

o, posiblemente, vegetación; con más detalle se podían ver estructuras que parecían canales. Como los europeos tenían canales para llevar agua a diferentes lugares, se pensó que podría haber civilizaciones marcianas. Sin embargo, a partir de los viajes espaciales, con los primeros satélites puestos en órbita, como el Sputnik I, en 1957, y las primeras imágenes tomadas por la astronave automática Mariner 4, en 1965, se reveló que en realidad no existían tales canales y que su observación se debía a problemas ópticos y de alineación de los telescopios utilizados en la Tierra, que hacían apreciar los cráteres y otras estructuras de la superficie en forma de líneas rectas.

Aunque en 1969 el hombre llegó por primera vez a la Luna, Marte siguió siendo el planeta de mayor interés y curiosidad, al ser el más parecido a la Tierra, y ubicado a una distancia no muy diferente a la de los otros planetas cercanos al Sol, por lo que se siguió considerando que pudo haber tenido vida en el pasado.

Uno de los problemas que tiene Marte, sin embargo, es que su atmósfera es mucho más tenue que la de la Tierra y nunca se ha visto evidencia de que tenga agua líquida en la superficie. En los años 70 las misiones Vikingo organizadas por la NASA buscaban resolver, básicamente, el enigma de si había o no vida en Marte, por lo que se diseñaron varios experimentos. Uno de éstos fue químico y consistió en enviar un espectrómetro de masas y un cromatógrafo de gases para tomar muestras de suelo marciano. Los resultados fueron muy sorprendentes, porque no se encontró ningún material orgánico.

En 1976 se enviaron dos naves espaciales a Marte para explorar el hemisferio Norte en diferentes partes y los resultados mostraron que no había materia orgánica. Todos los preparativos para esas misiones se habían hecho en el desierto de Mojave en California, al norte de México, y también en el desierto de Arizona. En ese entonces, se pensaba que esos lugares podrían representar un buen ambiente análogo a lo que serían las condiciones de aquel planeta, como la falta de agua, lo que permitiría demostrar si la instrumentación funcionaba.

Los materiales que se generaban en el suelo del desierto de California mostraban que había una gran

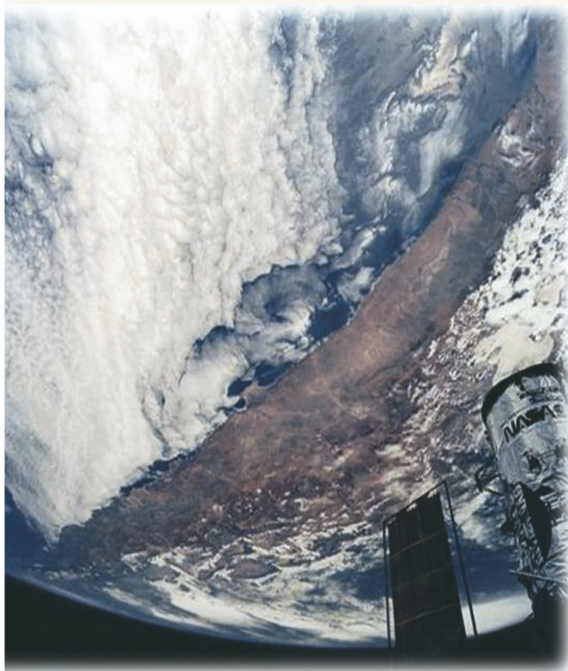


Foto satelital mostrando el desierto de Atacama en Chile

simples de vida. Y de todos los planetas de nuestro sistema solar, Marte es el único al que se considera con estas posibilidades. Desde la antigüedad, los seres humanos pensaban que Marte tenía vida, porque se podía ver a simple vista o con telescopio, que en diferentes épocas del año, mostraba cambios en su superficie, lo que parecían estaciones climáticas



Escanea para leer el número completo.

años, en donde se encuentran los depósitos más grandes de nitratos que existen en todo el mundo. “La existencia de esos nitratos sugiere que no hay agua líquida o no ha llovido en mucho tiempo, porque, si cayera un poco de agua, se podría disolver e ir al subsuelo, pero los nitratos están en forma superficial, se han venido formando a lo largo del tiempo y acumulado como depósitos de óxidos de nitrógeno.”

El desierto de Atacama está aislado en la zona este por la Cordillera de los Andes, que alcanza 6 kilómetros de altura, y en la oeste por la Cordillera de la Costa. Por otro lado, en el Océano Pacífico fluyen corrientes frías de la Antártida que no favorecen la evaporación y el transporte del agua hacia Atacama.

Los análisis químicos del suelo en la parte más árida del desierto de Atacama -afirma Navarro- son sorprendentes, ya que prácticamente no se ha encontrado material orgánico y aquel presente, a niveles traza, está en alto grado de oxidación. La técnica implementada para estos estudios en el Laboratorio de Química de Plasmas y Estudios Planetarios de la UNAM fue idéntica a la utilizada por las naves Vikingo.

“Para detectar la presencia de vida se buscó ADN en el suelo y, asombrosamente, no se encontró nada. Los análisis microbiológicos fueron también extraordinarios, ya que no se encontraron bacterias heterótrofas que fueran cultivables en diferentes medios. Estudios químicos y microbiológicos descartaron que los suelos fueran tóxicos para el desarrollo de bacterias.”

Adicionalmente se midió el potencial de oxidación del suelo del desierto y se encontraron valores muy altos, que indicaban la presencia de uno o más oxidantes. Para determinar el grado de reactividad de estos suelos se realizaron experimentos en los que se incubó suelo con diferentes nutrientes marcados con carbono 13, demostrando que la degradación de estas moléculas se debe a procesos puramente químicos y no biológicos.

Estos resultados, en forma global, demuestran que las propiedades de los suelos del desierto de Atacama son prácticamente similares a los encontrados por las misiones Vikingo en Marte. La naturaleza de los oxidantes en el suelo no ha sido identificada todavía, tal y como es el caso para Marte. Por lo tanto, se ha descubierto una zona en la Tierra que puede servir como un buen ambiente análogo al de Marte. Esto es de gran interés para la NASA, ya que esta zona se convertirá en el área de pruebas para la preparación de las futuras misiones espaciales que irán en busca de vida pasada o presente en el planeta rojo.

El doctor Navarro afirma que esta investigación les ha tomado tres años y que es un proyecto en el que se han invertido 5 millones de dólares por parte de la NASA, y que “es importante estudiar qué tan extensa es esta zona análoga a la de Marte, así como establecer procedimientos para evitar su contaminación”.

Dada la importancia de los hallazgos del grupo integrado por el doctor Navarro, así como por científicos de la NASA y de la Universidad de Louisiana, la revista Science los reporta en su número del 7 de noviembre del 2003, al mismo tiempo que el **El faro** de la Coordinación de la Investigación Científica de la UNAM.



Foto satelital mostrando el desierto de Atacama en Chile

cantidad de compuestos orgánicos. También se hicieron pruebas en el desierto de los valles secos de la Antártida donde hubo detección de compuestos orgánicos. El asombro de los científicos fue que los resultados no mostraron registro alguno de dichos compuestos en los equipos enviados a Marte, la duda era si el equipo había funcionado o fallado.

Lo que se hizo fue probar el equipo con otros intervalos de medición y se encontró un compuesto orgánico que no existe en forma natural y que solamente se podía explicar como el solvente que se empleó para limpiar y esterilizar las naves, aquí en la Tierra y no en Marte. El haber encontrado este componente como un contaminante de esterilización de la nave espacial demostraba que los equipos



Suelo del desierto de Atacama

habían funcionado y el hecho de que no hubiera material orgánico sugería que efectivamente éste no existía en Marte.

Posteriormente hubo un paquete de experimentos biológicos en esa misma misión. Uno con agua, para ver si había alguna respuesta de los microorganismos que pudieran haber ahí, y lo que se encontró fue que, tan pronto se ponía agua en el suelo marciano, se liberaba oxígeno, y eso podía sugerir la fotosíntesis como ocurre aquí en la Tierra y, por lo tanto, el hecho de que podía haber vida.

Otro de los experimentos consistió en agregar nutrientes seleccionados en la Tierra, porque son fáciles de digerir por cualquier bacteria o

microorganismo, y la sorpresa fue que cuando se aportaban esos compuestos al suelo marciano se liberaba bióxido de carbono, tal como se podría esperar si hubiera un metabolismo de degradación; por ejemplo, como ocurre en la respiración. Para poder distinguir si estos compuestos eran realmente el resultado de la descomposición de los sustratos que se habían mandado, fueron marcados con carbono 14 y el equipo indicó la actividad del bióxido de carbono. Este es uno de los experimentos que más duda ha ocasionado, porque demostraba que sí había actividad respiratoria, pero estaba en contradicción con los datos de los componentes de análisis químicos, que indicaban que no había materia orgánica.

Finalmente, después de varios experimentos, un gran grupo de científicos concluyó que no había vida en Marte y el argumento principal era que no había material orgánico y que las pruebas positivas de experimentos se debían a la gran reactividad de los suelos marcianos por procesos fotoquímicos.

La persona que diseñó el experimento de la respiración en Marte estuvo en total desacuerdo, afirmando que sí existió vida en Marte y que se requerían unas cuantas bacterias que podían dar esa respuesta, y que los equipos de espectrometría y cromatografía podían fallar.

Dado que los resultados no eran muy satisfactorios, disminuyó temporalmente el interés de buscar vida en Marte, y no fue sino hasta 1996, cuando apareció un reporte en la revista Science con cinco o seis evidencias de vida fósil en un meteorito marciano, que aunque no eran concluyentes, según los autores, podrían indicar, combinadas, que hubo vida en el pasado. Gracias a ese resultado, la NASA le volvió a dar mayor interés al planeta rojo.

Para las nuevas misiones que se planea desarrollar en esta década existe un interés prioritario de la NASA por encontrar un mejor ambiente análogo al de Marte en la Tierra, pero, ahora basado en los conocimientos que arrojaron los resultados de las naves Vikingo. Uno de esos lugares es el desierto de Atacama, en Chile. En este proyecto está involucrada la NASA, la Universidad de Louisiana y la UNAM, a través del Laboratorio de Química de Plasmas y Estudios Planetarios, a cargo del doctor Rafael Navarro-González del Instituto de Investigaciones Nucleares.

En conversación con **El faro**, el doctor Navarro explicó que Atacama es uno de los desiertos más viejos en la Tierra, con una edad de 15 millones de





El uso de los polímeros en la ciencia espacial

Por Patricia de la Peña Sobarzo

Muchas personas piensan que el espacio exterior está completamente vacío. Si esto fuese cierto, escoger materiales para proteger las naves espaciales sería fácil! Pero el espacio está muy lejos de estar vacío, y la mayor parte de los materiales conocidos sobreviven poco tiempo en el severo ambiente espacial.

En el espacio hay radiación ultravioleta, diferencias de temperatura extremas, alto vacío, radiación cósmica galáctica, micrometeoros, partículas solares, etc. Muchas de estas partículas son atrapadas por el campo magnético antes de llegar a la Tierra, y forman los cinturones de Van Allen, situados a una distancia de entre cientos y miles de kilómetros de la superficie terrestre. Los planetas vecinos, Marte y Venus, dado que no poseen campo magnético, no tienen estos cinturones protectores.

En la órbita terrestre baja (situada a altitudes de entre 200 y 700 kilómetros), los satélites y otros vehículos espaciales están expuestos a la radiación ultravioleta, a la radiación ionizante (electrones y protones) y al plasma ionosférico; asimismo, a otro factor adverso: el oxígeno atómico. En la superficie de la Tierra el oxígeno que respiramos es molecular (O_2), lo que lo hace bastante estable. Pero en la estratosfera (a más de veinte kilómetros de altura) la radiación ultravioleta transforma ese oxígeno molecular en oxígeno atómico (O). Estos átomos de oxígeno se

convierten en una amenaza seria para la superficie exterior de las naves espaciales.

Gran resistencia al desgaste

Hoy en día los polímeros se utilizan ampliamente en vehículos o naves espaciales como materiales estructurales (recubrimientos térmicos), adhesivos y lubricantes debido a su alta resistencia y propiedades mecánicas, térmicas y ópticas. Los polímeros típicos para dichos propósitos son los fluorocarbonos, poliésteres, poliamidas, poliimidias, polisiloxanos (silicones), poliuretanos y epóxicos.

Existen polímeros naturales como el algodón, la celulosa, la seda. Sin embargo, los mayormente usados en nuestra vida diaria son sintéticos.

El interés actual en el tema de los polímeros se centra en evaluar su estabilidad ante los diferentes tipos de radiación que hay en las órbitas espaciales bajas. La mayoría de los experimentos acerca de su resistencia con fines espaciales se ha realizado en los transbordadores de la NASA, la estación espacial rusa MIR y en diferentes laboratorios. Uno de los descubrimientos ha revelado que la radiación ultravioleta induce procesos degradativos en los polímeros y reduce sus propiedades de control térmico.

Más investigación

Además de lo anterior, la presencia de grandes concentraciones de átomos de oxígeno conduce a la erosión por oxidación de las superficies de los polímeros, lo que se traduce en pérdida de su masa y deterioro del rendimiento. Se cree también que los átomos de oxígeno contribuyen al resplandor de los vehículos espaciales, lo que genera una seria interferencia con el funcionamiento de los sensores ópticos que operan en el espectro de lo visible y lo infrarrojo.

La estabilidad de los polímeros en órbitas espaciales más altas, en viajes interplanetarios y en la superficie de la Luna y otros planetas, como Marte, también ha sido poco estudiada. En estos ambientes, los niveles de radiación son mayores, por lo que se requiere investigar mucho más la resistencia de los polímeros a estos tipos de radiación.

Los grandes avances en la química de polímeros están permitiendo desarrollar nuevos materiales con excelentes propiedades de operación que son candidatos idóneos para utilizarse en el espacio. No obstante, aún se desconoce su estabilidad ante la radiación. Dado que muchas naves espaciales y robots enviados a otros planetas deben permanecer funcionando durante varios años, los investigadores deben lograr la creación de polímeros con una gran estabilidad ante la radiación.





Escanea para leer el número completo.

Aportaciones de la UNAM

Los doctores Rafael Navarro-González y Roustam Aliev, del Instituto de Ciencias Nucleares, en colaboración con algunos especialistas en polímeros del Instituto de Investigaciones en Materiales de la UNAM, están estudiando la estabilidad de diferentes polímeros avanzados de interés espacial ante la radiación ionizante.

Los cambios químicos inducidos por la radiación en los polímeros son analizados mediante dos técnicas. La primera se basa en el análisis de gases liberados por la ruptura de enlaces químicos en las cadenas poliméricas. La segunda consiste en la fragmentación del polímero en moléculas volátiles mediante procesos químicos o térmicos. En ambos casos, los productos se analizan mediante cromatografía de gases acoplada a espectroscopia de infrarrojo y masas con técnicas de impacto electrónico y/o ionización química.

Los doctores Navarro y Aliev también estudian la estabilidad de polímeros en un ambiente extremo, como el desierto de Atacama, al norte de Chile. Este lugar ha sido descrito recientemente por el doctor Navarro como el mejor ambiente análogo de Marte en la Tierra, ya que sus suelos son oxidantes y no contienen microorganismos ni compuestos orgánicos debido a los niveles altos de luz ultravioleta. En octubre de 2003 se colocaron diferentes polímeros en la zona de Yungay, en Atacama, con el propósito de estudiar cómo se degradan en ese ambiente. Los polímeros que se

están estudiando son poliésteres, poliimida y poliestireno.

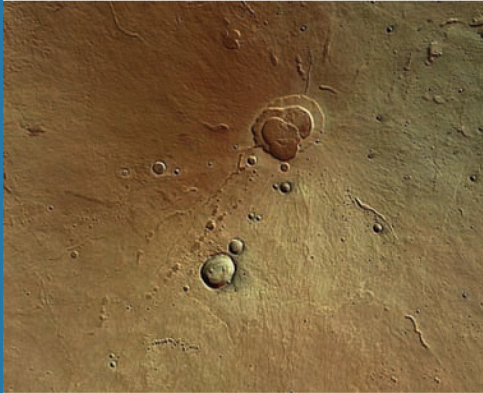
Después de casi un año de exposición se aprecian algunos cambios físicos visibles, como el color y la degradación en las placas expuestas. Se planea dejar estos polímeros por lo menos un año más antes de iniciar estudios sobre las transformaciones que puedan sufrir durante la exposición.

El doctor Navarro considera que estas investigaciones podrían ser importantes tanto para la construcción de la base lunar como para las futuras misiones a Marte, programadas a partir del 2010.

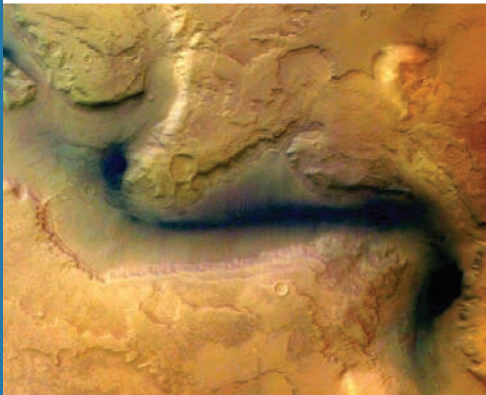




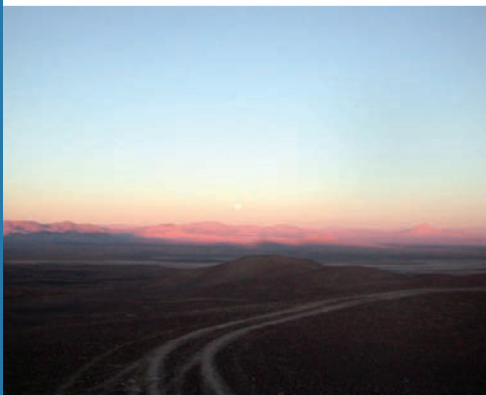
Entrevista



Hallazgo de metano en Marte



Agua en Marte



Atardecer en el desierto de Atacama

Metano en la atmósfera de Marte

Por Yassir Zárate Méndez

A finales de 2004, la Agencia Espacial Europea reportó la presencia de metano en la atmósfera de Marte, a partir de observaciones realizadas por la sonda Mars Express. Para abundar sobre la importancia de este hallazgo, **El faro** entrevistó al doctor Rafael Navarro-González, investigador del Instituto de Ciencias Nucleares de la UNAM, quien desde hace varios años colabora con la NASA en el desarrollo de metodologías y experimentos que permitan aclarar la posibilidad de vida en aquel planeta.

El faro ¿Qué significa este hallazgo?

Rafael Navarro-González Es la primera vez que se reporta metano en la atmósfera de Marte gracias al espectrómetro Fourier instalado a bordo de la Mars Express. El descubrimiento es muy importante porque nos indica que en la atmósfera marciana hay gases que se encuentran en desequilibrio termodinámico, por lo que debe haber un proceso que los está generando, que no sabemos si es de origen químico o biológico.

Ef ¿Cuál es la diferencia con el metano que hay en la Tierra?

RN-G En la Tierra también hay metano y la mayor parte es de origen biológico. Asimismo hay pequeñas cantidades que son de origen químico, principalmente del vulcanismo submarino. En el caso de Marte, creemos que la emisión volcánica no podría explicar la presencia del metano. Sabemos que la última actividad volcánica ocurrió hace miles de años, por lo que sería difícil entender que el metano haya sobrevivido tanto tiempo, ya que este gas se descompone continuamente por la acción de la luz ultravioleta del sol. Queda la posibilidad de que su origen sea biológico. En la Tierra, las bacterias metanógenas convierten el dióxido de carbono e hidrógeno en metano para obtener energía. Creemos que en Marte podría estar dándose un mecanismo similar.

Ef ¿De dónde pudieron haber salido esas bacterias metanógenas?

RN-G Debieron haberse originado hace 3500 o 3800 millones de años, cuando las condiciones atmosféricas de Marte eran parecidas a las de la Tierra, con un ambiente más clemente, con presencia de agua líquida en la superficie y diferentes fuentes de energía, lo que tal vez condujo a la aparición de la vida en aquel planeta. Después hubo un cambio climático y aquellos



Escanea para leer el número completo.

organismos ya no pudieron vivir en la superficie, quedando restringidos a alguna actividad en el subsuelo marciano. Pensamos que podrían ser organismos simples, como bacterias o arqueas.

En este punto, el doctor Navarro explicó que durante los preparativos para las recientes misiones a Marte se detectaron bacterias en el Laboratorio de Propulsión a Chorro de la NASA, un sitio completamente esterilizado y con nulas posibilidades para la vida. De ese modo, es probable que actualmente haya bacterias terrestres en Marte, que viajaron en las paredes interiores de las naves y robots, pero de forma no planeada, y que se encuentran en estado latente. “Por las condiciones de temperatura sabemos que esas bacterias no van a tener actividad, pero lo que desconocemos es si pueden tenerla bajo las presiones atmosféricas de Marte, que es como 100 veces menor a la presión atmosférica de la ciudad de México”.

Ef ¿Cuáles son los objetivos del trabajo que está desarrollando en su laboratorio?

RN-G Estamos preparándonos para participar en la misión que se enviará a Marte en el 2009. Se va a incluir un equipo químico que podrá detectar la presencia de moléculas de origen químico y biológico. Como un objetivo principal, está estudiar al metano como una posibilidad que diera una huella para saber si hay o no vida en Marte. También estamos estudiando los desiertos, como el de Atacama, en Chile, para buscar las condiciones extremas donde los seres vivos pudieran sobrevivir. Para ello hacemos crecer bacterias que se pueden cultivar en las zonas más extremas de los desiertos para ver si pueden sobrevivir a presiones atmosféricas tan bajas como las de Marte.

Ef ¿A qué presiones las van a someter?

RN-G La presión en Marte es de 7 milibares. El objetivo consistirá en aplicar a las bacterias la presión atmosférica terrestre, de 1030 milibares, y de ahí bajarla paulatinamente hasta 7 milibares para ver si bajo esas presiones las bacterias están en actividad y se pueden seguir reproduciendo.

Ef ¿Uno de los experimentos conjuntos con la NASA consistía en estudiar las bacterias que hay en el Pico de Orizaba?

RN-G Exactamente. Estamos estudiando estas bacterias y la relación que tienen con los pinos, con el propósito eventual de introducir bosques en Marte. En este sentido, pensábamos llevar vida de la Tierra a Marte, pero ya no es necesario, porque ya están allá las bacterias en las naves espaciales que se han enviado últimamente. Es importante saber a qué temperatura y presión van a entrar en actividad en la superficie marciana esas bacterias.

En esta búsqueda de vida en otros mundos, resulta de gran relevancia la presencia del doctor Rafael Navarro-González en los equipos internacionales de investigación. Así, se ratifica la importancia de la UNAM en la escena de la exploración espacial.



Pico de Orizaba



Investigadores en el desierto de Atacama



Instrumentos de investigación en Atacama

Hallazgos

el faro · julio - agosto de 2009 · no. 100-101

Llevar vida al Planeta Rojo

Patricia de la Peña Sobarzo

El planeta Marte ha llamado la atención de los hombres desde la Antigüedad. Su peculiar tonalidad rojiza llevó a pensar a griegos y romanos que tenía alguna relación con el sanguinario dios de la guerra –Ares en la cultura helena, Marte entre los latinos.

Además, el planeta ha alimentado la imaginación popular durante milenios. Antes de la exploración espacial, se pensaba que Marte estaba lleno de vida, con civilizaciones avanzadas, que incluso podrían significar una amenaza para los terrícolas.

Sin embargo, la evidencia arrojada por las observaciones astronómicas y las misiones enviadas al Planeta Rojo –estadounidenses, soviéticas y europeas– nos muestran un paisaje desolado, sin rastros de civilización y con la permanente duda de que haya algún tipo de vida. Lo que se ha visto es que se trata de un cuerpo celeste frío con una atmósfera muy tenue, compuesta primordialmente de CO₂, donde el agua se mantiene congelada en los polos, ya que no puede existir en forma líquida en su superficie debido a la baja presión atmosférica. Hasta ahora ninguna expedición ha confirmado la presencia de microorganismos, ya no se diga de algún tipo de civilización.

No obstante, Marte sigue atrayendo la atención de los científicos. En las páginas de *El faro* hemos dado puntual seguimiento a los trabajos desarrollados por el doctor Rafael Navarro-González, del Instituto de Ciencias Nucleares, quien recientemente se hizo acreedor a la medalla Alexander von Humboldt, otorgada por la Unión Europea de Geociencias, por haber descubierto en el desierto de Atacama, en el norte de Chile, una región parecida a la superficie de Marte.

Desde hace años, el doctor Navarro-González colabora con la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA, por sus siglas en inglés) en los distintos proyectos que maneja la agencia estadounidense, en su objetivo de explorar al cuarto planeta del sistema solar, teniendo como meta la eventual terraformación de Marte, es decir, modificar las actuales condiciones atmosféricas y climáticas para que, en caso de que se compruebe que no hay vida en su superficie, se

pueda introducir especies terrestres que permitan la colonización del planeta.

Altura del bosque en el Pico de Orizaba

En esta oportunidad, Navarro-González detalla que ha iniciado una serie de trabajos en el Pico de Orizaba. El investigador apunta que dicha montaña es la que cuenta con la línea de bosque más alta del mundo, toda vez que se registra la presencia de árboles hasta una altura de 4,100 metros, situación que no ocurre en ninguna otra parte de la Tierra. El Pico no es la montaña más alta del mundo, pero es la tercera más alta de Norteamérica. La de mayor altura está en Alaska y es interesante ver, apunta Navarro, que las montañas que son muy altas no tienen un bosque muy elevado. Pero conforme uno se mueve del polo hacia el ecuador, se empieza a observar una tendencia ascendente en la línea del bosque, por lo que se esperaría que llegando a ese punto éste fuera más alto. Sin embargo, en el Pico Bolívar que está en Venezuela a tan sólo 9 grados del ecuador, la línea del bosque llega hasta los 3,500 metros de altura, mucho más abajo que la del Pico de Orizaba, de ahí la importancia de experimentar aquí, lo que permitirá conocer cuál es la limitante que determina su crecimiento a esa altura, a la vez que sirve como un modelo para poder entender cómo sería el proceso de terraformación en Marte.

Para entender qué es lo que permite el crecimiento de organismos en un ambiente a esa altura, donde escasea el oxígeno y las temperaturas son muy bajas, el doctor Navarro y su equipo han procedido a la plantación de arbolitos de la misma especie que crece en la parte más alta del Pico de Orizaba, que es *Pinus hartwegii* a diferentes rangos de altura.

Una de las hipótesis que se maneja en cuanto a lo que limita el crecimiento del bosque está relacionada con las bacterias encargadas de la fijación del nitrógeno, del que se nutren las plantas. Probablemente las bajas temperaturas que se experimentan por encima de la "línea de bosque" no permiten que estas bacterias lleven a cabo su función. De acuerdo con

Navarro la "más cos-



Marte, el Planeta Rojo

← La línea del bosque en el Pico de Orizaba llega a 4,100 metros de altura.



Escanea para leer el número completo.

el faro · julio - agosto de 2009 · no. 100-101

tosa que se produce en la naturaleza”, ya que requiere de mucha energía para hacer la conversión química de nitrógeno en amoníaco. Es decir, necesita 18 moléculas de ATP para destruir una molécula de nitrógeno, mientras que la fotosíntesis requiere 12 por 6 átomos de CO_2 . La fijación del nitrógeno es la ruta metabólica más energética que existe en la naturaleza y ante las bajas temperaturas podría colapsarse.

Colateralmente, entre los resultados preliminares de la investigación, han podido advertir que en el Pico de Orizaba se están sintiendo los efectos del cambio climático, expresado en el incremento de la temperatura: “Cuando iniciamos el estudio hace diez años, en 1999, podíamos ver siempre el glaciar en la punta del volcán. Ahora ya no se ve, sólo en la cara norte se puede apreciar una pequeña cantidad pero ha desaparecido el hielo. Eso nos está demostrando que sí ha habido un cambio y lo estamos viendo con los arbolitos que pueden desarrollarse más alto”, apunta el doctor Navarro.

Pero ahí no terminan las bondades de este accidente orográfico, además de investigar qué delimita el crecimiento del bosque y de pastos a cierta altura, el Pico de Orizaba permite echar un vistazo al proceso que ha seguido la vida en la Tierra. Así, en la punta del glaciar no se tienen vestigios de ningún tipo de organismo, pero a medida que se desciende y cambia la temperatura se pueden encontrar diferentes especies, cada vez más complejas, empezando con algunas bacterias, pasando por hongos y cianobacterias, después líquenes y conforme se continúa en el descenso se ven musgos hasta alcanzar a los pastos y por último a una mayor diversidad de plantas hasta llegar al bosque.

“El Pico de Orizaba nos sirve como un modelo para entender cómo sería el proceso de terraformación, porque efectivamente, podemos ir en el pasado y ver cómo evolucionó el planeta. Si uno se va a una montaña alta y empieza a descender, vemos exactamente el proceso de colonización de los continentes por las plantas”.

Respuestas en el suelo
Navarro-González añade que también han puesto atención en los



Ejemplar de dos años de *Pinus hartwegii* plantado a 4,370 m. (en el círculo). Datos preliminares indican que los árboles plantados a más de 4,600 m. sobreviven mejor con suelo local, en contraste con aquellos sembrados con suelo del bosque.

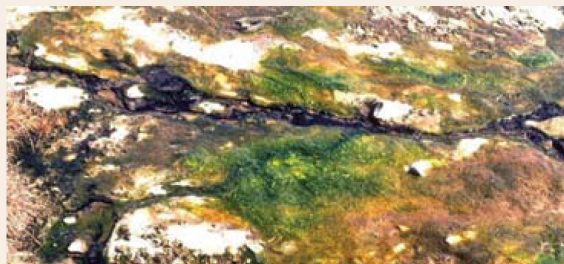
componentes orgánicos presentes en el suelo del volcán, donde habitan organismos como las cianobacterias, que juegan un papel fundamental en los esquemas de generación de vida. En el caso del Pico de Orizaba, la presencia de estos microorganismos representa un bloque en el edificio de la vida, ya

que su actividad es fundamental para la fijación de nitrógeno, uno de los procesos que permiten la nutrición celular. Las cianobacterias son la fuente que lleva nitrógeno a los mares. En una época del año hay un florecimiento de estas bacterias, que es cuando están haciendo la fijación del nitrógeno; dicho florecimiento ocurre en el verano y no en el invierno, porque aunque haya sol, la temperatura disminuye.

Con las observaciones realizadas en el volcán podrían seguirse procedimientos para llevar vida a Marte. Pero para ello el primer paso importante es saber si la hay en el planeta: “Necesitamos saber si hay o no vida en Marte. Si no la hay entonces podríamos hacer el experimento de cambiar su clima e introducirla”.

En cuanto a si es ético o no llevar vida de la Tierra a Marte, Navarro considera que “si la hay, no es correcto llevarla de aquí porque entraría en conflicto y podría ocasionar daños importantes a la biosfera marciana, pero si no la hay, no habría ningún problema”.

Antes se pensaba que era difícil el origen de la vida, que tal vez llevó miles de millones de años en surgir, ahora se cree que no,



Ambiente donde abundan cianobacterias fijadoras del nitrógeno.

Ecosíntesis en Marte y la analogía de una montaña terrestre.



pero en un proceso inducido y controlado. Y es que como se recordará, Marte recibe hasta un 40% menos de la radiación solar, en comparación con la que llega a la Tierra. Esto hace que las condiciones de temperatura sean extremadamente bajas, por lo que se necesita elevar el nivel al menos hasta 7° C, que es la temperatura promedio que se requiere en Marte para poder hacer crecer un bosque.

“No se piensa llevar los gases desde la Tierra, sino solamente mandar máquinas o robots que puedan extraer del suelo marciano los volátiles que se requieren para generar los gases en Marte. Tienen que ser muy potentes para que estén en concentraciones bajas y no tengamos que producir tantos, además deberán atrapar eficientemente la radiación solar. También tienen que ser estables en la atmósfera para que el Sol no los destruya y por lo tanto no tengamos que estar continuamente suministrándolos. Se calcula que a lo mejor en unos 100 años podríamos ya tener un clima propicio para que el agua que está congelada en los polos en el subsuelo se derrita”.

Una vez superado este paso, será posible introducir especies de la Tierra, entre las que se encuentran organismos como las cianobacterias, cuya actividad permitirá también la incorporación de diferentes plantas, siguiendo los pasos de lo que ahora se realiza en el Pico de Orizaba.

Reproducir en Marte las condiciones que sustentan la vida en la Tierra parece extraído de una historia de ciencia ficción. Sin embargo, con el avance científico y

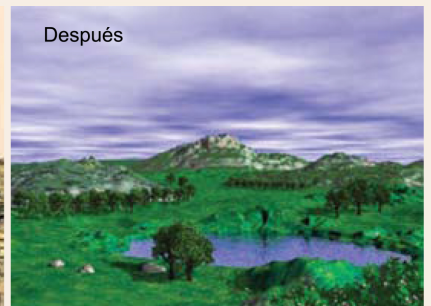
tecnológico esto cada vez se aproxima más a ser una realidad, aunque se trata de un proyecto que podría tomar de 100 hasta 1,000 años para concretarse. ☉

que la vida aparece rápidamente. De hecho, enfatiza el investigador, “surgió muchas veces en la Tierra, pero era aniquilada por impactos de asteroides y cometas que volatilizaban los océanos y no fue hasta que el ambiente de la Tierra primitiva se estabilizó, cuando la vida ya se mantuvo. Creo que un experimento que se puede hacer es probar qué pasa si llevamos la vida afuera. Tenemos una misión de la NASA programada para el 2011, en la que yo participo, y que va a tratar de determinar si hay vida o no. Si encontramos compuestos orgánicos eso haría que pudiéramos tener más misiones con pruebas fisiológicas”. Por el momento se buscarán compuestos orgánicos para determinar si son de origen biológico o químico.

El Planeta Rojo en el 2050

El doctor Navarro estima que será a mediados de este siglo cuando se pueda saber de forma definitiva las condiciones biológicas del Planeta Rojo. En caso de que las indagaciones den un resultado negativo, como primer paso se procederá a liberar gases de efecto invernadero, para provocar el incremento de la temperatura a escala global, algo como lo que está ocurriendo ahora en la Tierra,

Marte antes y después de la terraformación.



Principales misiones enviadas a Marte por los Estados Unidos

Mariner 4 (1964)	Envió exitosamente 21 imágenes del planeta.
Viking 1 (1975)	Orbitó Marte y se posó en él.
Viking 2 (1975)	Realizó experimentos para buscar vida y envió con éxito 16,000 imágenes del planeta.
Mars Odyssey (2001)	Envió imágenes de Marte en alta resolución.
Mars Reconnaissance Orbiter (2005)	Envió más información que todas las demás misiones combinadas.

Rafael Navarro, astrobiólogo. De Maryland a CU

José Antonio Alonso García

En el número anterior de *El faro* dimos cuenta de la formación académica de este distinguido maestro universitario, cuyas investigaciones lo llevaron a colaborar con la NASA.

Grandes maestros

A diferencia de muchos estudiantes de todo el mundo que iban a Estados Unidos y que su objetivo era quedarse allá, porque las oportunidades de investigación en sus países no eran tan buenas, Rafael Navarro, recién titulado como doctor en ciencias, regresó a México para contribuir al crecimiento del país desde el Centro de Estudios Nucleares, ahora Instituto (ICN), de la UNAM.

Año y medio después del retorno, Cyril Ponnampertuma le comunicó por teléfono que tenía una propuesta muy importante de la NASA para de-



En su laboratorio del ICN, Rafael Navarro investiga el papel que jugaron los relámpagos en el origen de la vida terrestre.

sarrollar un centro especializado en origen de la vida y lo invitó a formar parte. Sin pensarlo mucho, se fue a colaborar con más de diez premios Nobel que participaron en tal proyecto. Pero quedaron en segundo lugar. "Sin embargo, el entrenamiento que recibí para crear un centro de millones de dólares me cambió la visión", rememora el científico.

Promesas cumplidas

En ese momento se gestó en México un programa de repatriación de científicos. Dudoso de tal novedad, Navarro se fue a la embajada de México en Washington a platicar con el encargado de asuntos científicos, quien le explicó, entre otras cosas, que a los repatriados les iban a poner un laboratorio con la misma infraestructura y recursos económicos que tenían en Europa o Estados Unidos.

Regresó, escribió, propuso y fue aprobado su proyecto de investigación: la responsabilidad de los relámpagos en el origen de la vida en la Tierra primitiva. El Conacyt aportaría el 50% de los recursos y la UNAM la otra mitad. El conocimiento y la experiencia para formar un laboratorio adquirida en Maryland fue el factor clave. Mientras lo construía y equipaba, participó en otro proyecto de la NASA con científicos de Maryland para "desarrollar modelos de autorreplicación, cómo generar la vida a partir de máquinas computacionales". Un quinquenio después de su regreso, Navarro había logrado montar un laboratorio de alto nivel listo para competir con los mejores de Estados Unidos y Europa.

Cuestión de infraestructura

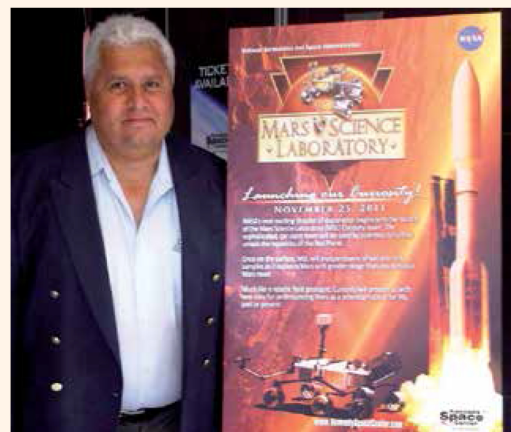
A principios del 97 empezó a simular la atmósfera de la Tierra primitiva en su laboratorio en el ICN. Y en septiembre acudió a una reunión de investigadores de todo el mundo en Trieste, junto al mar Adriático, donde expuso sus experimentos. Al término de su presentación, Christopher McKay le

propuso: "Los dos estamos haciendo lo mismo, pero tú tienes una infraestructura mejor, ¿por qué no trabajamos juntos en lugar de competir de manera individual?"

Esa colaboración terminó en un famoso artículo publicado en *Nature* sobre la crisis de nitrógeno en la Tierra primitiva. "La NASA emitió un comunicado de prensa sobre nuestro artículo que se reprodujo en todos los medios: televisión, periódicos y radio en todo el mundo". Algún tiempo después, Navarro se fue al desierto chileno de Atacama a las órdenes de McKay, inicio de su participación protagonista en el proyecto *Curiosity*, el robot-laboratorio que lleva dos años analizando la superficie y la atmósfera de Marte.

Experto a nivel mundial

Después de varias estancias científicas en el desierto para coleccionar y analizar muestras del suelo, revisó con más cuidado en el ICN los ex-



En agosto recibió un reconocimiento de la NASA como único científico latinoamericano participante en el *Curiosity*, cuyos análisis han confirmado los hallazgos de Navarro en su laboratorio del ICN.



Escanea para leer el número completo.



El color rojizo de las aguas del río Tinto se debe a los depósitos hidrotermales compuestos por rocas de pirita y calcopirita.

perimentos que habían hecho las naves *Vikingo* en Marte. Y repitió uno muy parecido donde se buscaban microorganismos. "Tomaba suelo, le agregaba nutrientes y veía si a esos nutrientes los degradaban las bacterias o eran degradaciones producto de compuestos muy reactivos. De esa manera demostré que los suelos de Atacama eran reactivos, pero no por bacterias sino por otros compuestos, como oxidantes muy potentes que degradaban la materia orgánica. Y esos mismos resultados habían encontrado las *Vikingo*", pero en la NASA interpretaron que los instrumentos de análisis estaban contaminados de origen.

La publicación de ese trabajo en la revista *Science* convirtió a Rafael Navarro en un experto a nivel mundial sobre ambientes extremos en Marte. Para entonces, la NASA ya había manifestado su interés en mandar un robot a este planeta, un vehículo como del tamaño de una camioneta, portador de diferentes aparatos de investigación.

Una treintena de científicos e ingenieros franco-estadounidenses que quería proponer un instrumento de análisis lo invitó a participar. Ganaron el concurso y "a partir de diciembre de 2004 inició ya mi participación directa en el robot *Curiosity*. Mi actividad se centraba en seguir buscando en la Tierra ambientes extremos para analizar suelos o sedimentos y ver qué información podían aportarnos sobre la búsqueda de vida en Marte".

Algo extraño

Navarro se fue al sur de España, a la localidad minera de Río Tinto, donde brota agua de las paredes de las minas. "Parecía vino tinto. Era de un color muy rojo. Por el hierro".

No había vida macroscópica: peces, algas, tortugas, nada. Inclusive pudo constatar cómo los insectos que caían al agua morían de inmediato.

Las muestras de sedimentos colectadas en Río Tinto las analizó en su laboratorio del ICN con las mismas técnicas utilizadas en Atacama y en las misiones *Vikingo*. Lo sorprendente fue que, a diferencia de los suelos del desierto, donde no se hallaron compuestos orgánicos, en Río Tinto sí había vida y microorganismos. Sin embargo, después de calentar a altas temperaturas estos sedimentos, no aparecía ningún compuesto orgánico. "Era algo extraño. ¿Cómo era posible que habiendo vida en el lugar no la viera con el equipo?", se preguntó Navarro. Lo que pasaba es que, con la técnica de calentamiento, los minerales de hierro oxidaban y destruían los compuestos orgánicos.

Poco antes de que publicara estos resultados, por problemas de presupuesto la NASA había decidido recortar la misión *Curiosity*, lo que afectaba directamente al instrumento que había diseñado el equipo en que participaba Navarro. "Pero cuando publico lo de Río Tinto les hago ver que era un error muy grande si quitaban esa técnica porque, después de una inversión tan grande, enviarían un instrumento que no iba a servir y que sería muy parecido a la misión *Vikingo*. Fue un logro muy importante", concluye el investigador.

Cadena de coincidencias

Otro estudio posterior, aún más importante, tuvo que ver con la llegada a Marte de la sonda *Phoenix*, uno de cuyos objetivos era verificar qué sales contenía el suelo y si eran compatibles con la vida. Cuando replicó esos experimentos con suelo de Atacama y con los percloratos que había hallado *Phoenix* en el suelo marciano, Navarro advirtió que se formaban compuestos organoclorados: cloro-

metano y diclorometano, los cuales eran el resultado de la interacción de los percloratos con la materia orgánica. Esos compuestos ya los había detectado la misión *Vikingo* pero se habían interpretado como contaminación residual terrestre.


Junto con Christopher McKay, publicó los resultados afirmando que los compuestos encontrados en Marte sí eran orgánicos y de origen marciano. "Eso fue un descubrimiento muy importante".

Ese instrumento que Navarro y colegas desarrollaron y pusieron a bordo del *Curiosity* es el más grande e importante del robot. Consiste en hornos para calentar el suelo o las rocas y un sistema de tuberías de vacío para llevar los gases a tres equipos analíticos, un cromatógrafo de gases, un espectrómetro de masas y un láser sintonizable. En conjunto, permiten analizar la atmósfera y el suelo marcianos. Su objetivo



Chris McKay con Rafael Navarro y su familia en las inmediaciones del Pico de Orizaba, en Tlachicuca, Puebla, en el 2000.

principal es descubrir compuestos orgánicos y si son de origen abiótico, es decir, formados por reacciones químicas, o de origen biótico, formados por organismos.

El primer análisis de suelo marciano realizado por el *Curiosity* confirmó los hallazgos del doctor Rafael Navarro González en su laboratorio del ICN. 

elfaro.cic.unam.mx/hay-virus-en-marte/

Boletín *El faro en línea*. Año 2020

¿Hay Virus en Marte?

José Antonio Alonso García

La pandemia de COVID-19 ha puesto en jaque no solo a médicos, enfermeras y personal sanitario. Además de los biólogos, también los físicos, matemáticos, químicos, fisiólogos, farmacéuticos, sociólogos, antropólogos están desentrañando las causas y consecuencias en busca de un antídoto eficaz.

El domingo 30 de octubre de 1938, en la víspera de Halloween, a las 21 horas, un ejército de naves alienígenas procedentes del planeta Marte comenzó a invadir radiofónicamente la Tierra, destruyendo todo lo que encontraba a su paso con rayos calóricos letales... Derrotados los humanos y casi al borde de la extinción, súbitamente... Los alienígenas empiezan a morir misteriosa e irremediamente... Fueron los virus y bacterias terrestres quienes aniquilaron a los invasores marcianos, y se salvó la humanidad.

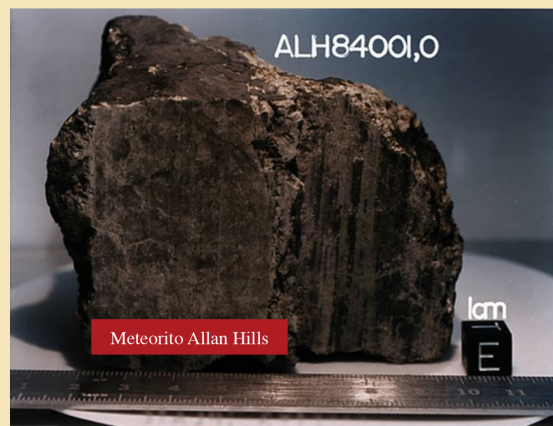
Primero en novela (1898), después en radio (1938) y finalmente en cine (1953), "La guerra de los mundos" impuso dos grandes realidades: el poder de la radiodifusión, cuando el joven Orson Wells aterrizó a muchos estadounidenses con su narración a través de la radio, y el poder casi invencible de los virus y bacterias (en el asedio de Tenochtitlan ya lo había demostrado el virus de la viruela).

Primera fase: en busca de vida

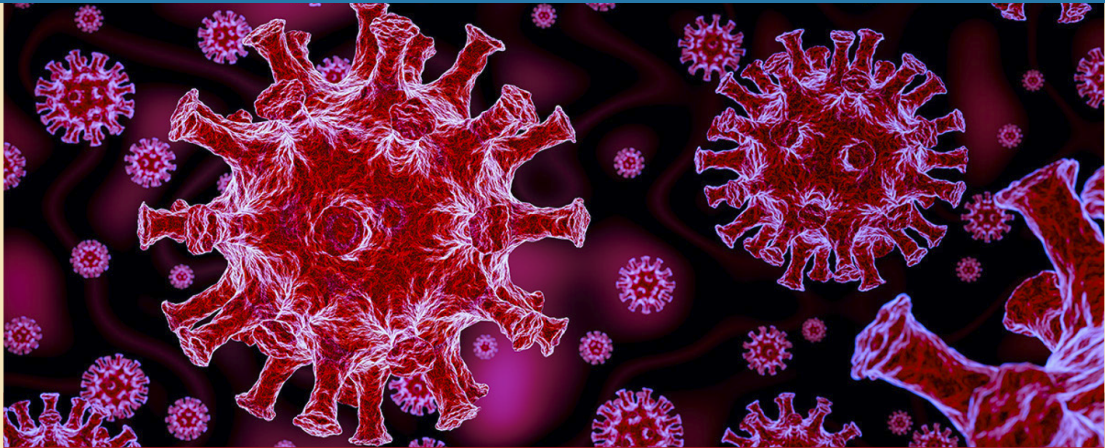
Hoy, más de un siglo después del inicio de esta gran ficción, germinada en la mente del escritor británico H. G. Wells, la pregunta real que responde el doctor Rafael Navarro es ¿Podría haber virus en Marte y otros lugares del cosmos?, como parte del Festival de arte y ciencia El Aleph 2020, organizado por la Universidad Nacional Autónoma de México.

"Soy Rafael Navarro González, investigador del Instituto de Ciencias Nucleares de la UNAM y co-investigador de la misión robótica Curiosity de la NASA, que explora la superficie de Marte desde el año 2012, y de la misión robótica ExoMars, que va a salir en dos años y que explorará también la superficie marciana".

El astrobiólogo inició su exposición recordando cinco características de Marte: es el planeta más parecido a la Tierra de los que conforman nuestro sistema solar; es más pequeño que nuestro planeta azul; prácticamente está seco; soporta tem-



Meteorito Allan Hills



Existen muchos tipos diferentes de coronavirus. Afectan tanto a humanos como a animales. Algunos coronavirus que afectan a los animales evolucionan (mutan) y pueden transmitirse de animales a humanos. En el 2020 la COVID-19, enfermedad provocada por el virus SARS-CoV-2 (síndrome respiratorio agudo grave coronavirus 2) se convirtió en una amenaza de salud pública grave, provocando la pandemia que puso en jaque a todos los sistemas de salud a nivel global.

peraturas muy bajas, de menos 50 °C; y su presión es casi inexistente, “apenas de unos cuantos milibares, equivalente a la que tenemos a 35 kilómetros de altura en nuestra atmósfera”.

Así luce ahora el planeta rojo, porque hace 4,000 millones de años era todo lo contrario, pues su atmósfera era muy densa y, probablemente, rica en dióxido de carbono, hidrógeno y nitrógeno, elementos básicos para la aparición de la vida. ¿Qué pasó, entonces?

¡Gran sorpresa! “Creemos que fue más factible que la vida apareciera en Marte antes que en la Tierra”, expresó el científico. Hubo colisiones de asteroides que impactaron en la superficie marciana y desprendieron rocas, las cuales saltaron al espacio exterior. Después de mucho tiempo, la mayoría retornó a la superficie marciana, pero otras derivaron hacia la Tierra “y pudieron traer bacterias en su interior y colonizar nuestro planeta”. Pero hasta el momento es solo una teoría científica, pues aún no hay evidencias sólidas que lo demuestren.

El doctor Navarro hizo un repaso breve de las primeras misiones espaciales de la NASA para buscar vida en Marte. A mediados de los setenta, las naves Vikingo exploraron ese planeta en busca de alguna evidencia de vida microbiana, a través de módulos de amortizaje dotados de diferentes experimentos para detectar su presencia. Dos décadas después, continuarían esta labor los robots *Pathfinder*, *Spirit*, *Opportunity* y *Curiosity*.

Tres positivos y un negativo

Recordó Navarro González que las naves Vikingo hicieron tres experimentos microbiológicos. El primero tuvo como objetivo ver qué tipo de gases se intercambiaban entre el suelo marciano y el ambiente de la cámara puesta en el incubador de la misión; se agregó agua al suelo marciano y se incubó; tras varios días se constató la liberación de dióxido de carbono

y oxígeno. “Este fue un hallazgo muy interesante porque sugería la presencia de actividad biológica”.

En otro experimento se añadió dióxido de carbono marcado radioactivamente y se iluminó con luz artificial para replicar vida marciana en el interior de la nave, a fin de ver si se realizaba fotosíntesis. Después de varios días se encontró que sí era posible convertir el dióxido de carbono marcado en compuestos orgánicos.

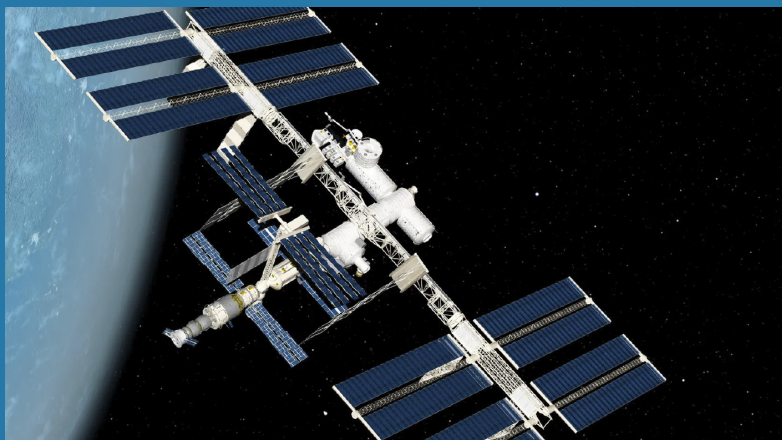
El tercero de los experimentos mostró que al incubar nutrientes en suelo marciano estos se descomponían en la misma forma en que lo hacen en la Tierra.

Las tres pruebas arrojaron resultados positivos. No obstante, se efectuó un experimento químico para detectar la existencia de compuestos orgánicos en el suelo marciano, el cual reveló que no había presencia de estos compuestos. Sorpresivamente, el análisis químico sugirió que no podía haber vida tal como la que conocemos hoy, aunque esto no descartaba la posibilidad de que hubiera habido vida en el pasado del planeta rojo.

¿Restos de vida en un meteorito marciano?

Después de esas misiones astrobiológicas decayó el interés por seguir buscando vida en Marte. Pero en 1984 se descubrió el meteorito Allan Hills, de casi dos toneladas, que había caído en la Antártida. Su estudio reveló evidencias de algunos cristales de carbonatos y la presencia de compuestos orgánicos y microestructuras que parecían bacterias fosilizadas.

Se pensó entonces que se habían descubierto reliquias de bacterias provenientes de Marte. Se cree que este meteorito salió eyectado de la superficie marciana hace unos 13 millones de años. Esa, hasta hoy, es la primera evidencia del transporte de vida de un planeta a otro.



La Estación Espacial Internacional (EEI) es un laboratorio de investigación en órbita a unos 400 km sobre la Tierra, construido gracias a la colaboración de cinco agencias espaciales principales.

Sin embargo, todas las conclusiones del meteorito de la Antártida fueron borradas del libro de los anales científicos, porque se comprobó que estuvo 13,000 años enterrado en la Antártida y que sus compuestos orgánicos y carbonatos eran similares a los de su ambiente terrestre.

La teoría de la coexistencia de la vida

La vida en Marte y la Tierra tal vez coexistió hace unos 4,000 millones de años, explica el doctor Navarro, cuando apareció en los dos planetas “y creemos que pudo haber estado intercambiándose por colisiones entre asteroides y cometas que caían en ambos planetas eyectando rocas contaminadas con bacterias, las cuales llegaban eventualmente a la superficie de Marte o de la Tierra”.

Esta teoría se sustenta, entre otros, en pruebas realizadas en la Estación Espacial Internacional, adonde se llevaron rocas con bacterias y se comprobó que las bacterias, hongos y cianobacterias pueden sobrevivir hasta un año y medio en condiciones extremas del medio interestelar, con temperaturas muy bajas y niveles de radiación muy elevados.

Como resultado, declara el colaborador de la NASA, “creemos que a la Tierra han llegado rocas contaminadas con microorganismos de Marte a lo largo de la historia. Y no se ha hallado evidencia alguna de

que hayan ocurrido catástrofes en la biosfera terrestre por la llegada de estas rocas posiblemente contaminadas con bacterias o virus marcianos”. Asume el doctor Navarro que las misiones Vikingo y los robots *Pathfinder*, *Spirit*, *Opportunity*, *Curiosity* pudieran haber llevado bacterias o virus a Marte. No obstante, reconoce también que esos organismos no pueden desarrollarse porque las condiciones del planeta rojo son muy hostiles.

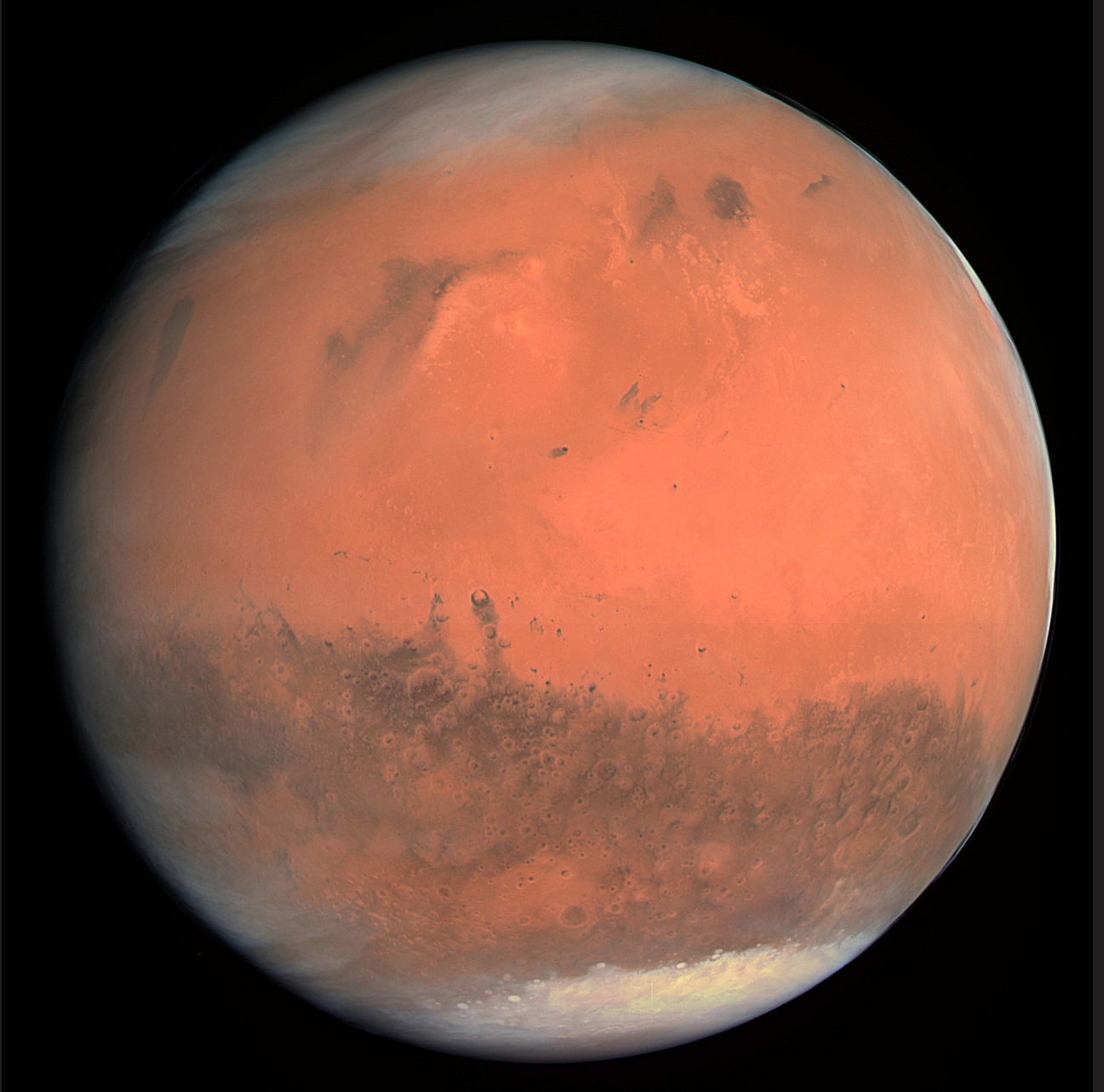
Las precauciones de la ciencia

Ante el riesgo de contaminación, se creó un Panel de Protección Planetaria con investigadores de diferentes países, el cual define y monitorea las medidas de seguridad, mas no solo para proteger el ambiente marciano, sino también al terrestre cuando en el futuro los astronautas traigan rocas de Marte a la Tierra.

En conclusión, recopila el astrobiólogo Rafael Navarro González, es posible que haya vida en Marte, pero aún se desconoce si esa vida pudiera tener un origen común al de la Tierra, porque podrían haber estado emparentadas por el intercambio de rocas entre ambos planetas. Aun así, la posibilidad de generar pandemias con este tipo de organismos es elevada y debemos tener el máximo cuidado.

Todos los días, la Tierra está expuesta al bombardeo de pequeñas rocas espaciales llamadas meteoros, la mayoría de las cuales se queman en nuestra atmósfera. La diferencia con un meteorito es que es un cuerpo que logra ingresar a la superficie de un planeta y que no se desintegra por completo en la atmósfera.





Marte, fotografía tomada en febrero de 2007 por el instrumento OSIRIS de la sonda espacial *Rosetta* que fue lanzada por la ESA. La imagen se creó utilizando los filtros naranja (rojo), verde y azul de OSIRIS. NASA.

EN OPINIÓN DE...

En las siguientes páginas incluimos algunas de las opiniones y palabras de aliento que distintos científicos nos regalaron a lo largo de los años. Ellas testimonian el valor que esta publicación alcanzó dentro y fuera de la UNAM, y del cariño que despertó en su comunidad.

El artículo 1º de la Ley Orgánica de la UNAM establece que sus principales funciones son la docencia, la realización de investigaciones y la extensión amplia de la cultura. Estas tres grandes tareas se llevan a cabalidad en el Subsistema de la Investigación Científica (SIC). La divulgación de la ciencia es una actividad indispensable que entrelaza íntimamente dichas funciones y las vincula con la sociedad. Por ello, hace casi un cuarto de siglo, el 2 de abril de 2001, por iniciativa del entonces Coordinador de la Investigación Científica, René Drucker, y la entusiasta y profesional visión de quien ha sido su directora, Patricia de la Peña, nació *El faro* como un órgano para divulgar las aportaciones del SIC, y con la misión de informar a diversos sectores, dentro y fuera de la Universidad, las tareas que realizan sus entidades. Primero en forma impresa y luego por vía digital, el comprometido equipo de *El faro* nos supo comunicar las maravillas y el impacto del trabajo de los universitarios, tanto en la generación de nuevo conocimiento como en su aplicación para intentar dar solución a varios problemas de la Nación. Ellos supieron transmitir a la sociedad la luz que brinda la ciencia que se hace en la UNAM, como un punto de referencia para disipar la oscuridad. Durante estos años cumplieron extraordinariamente con esa misión. Con gratitud por su esfuerzo y capacidad, mis más sinceras felicitaciones a los colaboradores de *El faro*. Mis mejores deseos para lo que venga.

Dr. Carlos Arámburo de la Hoz
Investigador emérito del Instituto de Neurobiología
Ex-Coordinador de la Investigación Científica (2007-2015)

La divulgación científica es una labor esencial para fortalecer el vínculo entre la investigación y la sociedad, al hacer accesible el conocimiento generado en los espacios académicos y fomentar el pensamiento crítico y la curiosidad científica. En este sentido, *El faro* ha desempeñado, a lo largo de 25 años, bajo su muy atinada coordinación, un papel fundamental como órgano informativo del Subsistema de la Investigación Científica de la UNAM, al comunicar de manera clara, precisa, ágil y amena las diversas actividades de investigación desarrolladas en sus centros e institutos. Su labor ha contribuido a acercar la ciencia tanto a estudiantes y docentes de bachillerato y licenciatura -núcleo de la comunidad universitaria- como a un público más amplio interesado en los avances del conocimiento.

Al cumplir 25 años de su efectiva labor, es justo reconocer la seriedad, el compromiso y la calidad del trabajo realizado por *El faro*, y expresar un sincero agradecimiento y felicitación a quienes lo han hecho posible, deseándoles el mayor de los éxitos en los proyectos que emprendan en el futuro.

Dr. José Luis Palacio,
Instituto de Geografía

Con gran tristeza me enteré de la desaparición de *El faro*, que siempre fue una extraordinaria vía para la divulgación científica en la UNAM. Yo lo he disfrutado mucho desde que era impreso y que usábamos en nuestros eventos como los *Días de Puertas Abiertas* y en nuestras visitas guiadas. Los estudiantes y profesores que nos visitaban la disfrutaban mucho y siempre nos solicitaban más ejemplares para sus eventos en sus escuelas. La versión digital también fue excelente, con mucha agilidad y siempre divulgando oportunamente lo que hacemos en la UNAM. Sin duda, el de *El faro* fue un gran equipo de divulgadores, todos ellos muy profesionales y de excelencia, y debo felicitarte a ti [Patricia de la Peña] como directora, por el gran trabajo que coordinaste para publicar *El faro* por un cuarto de siglo. Los que además de investigadores somos editores de una revista de divulgación, sabemos del gran esfuerzo que se requiere para mantener una publicación periódica de divulgación científica. En estos tiempos de enorme desinformación y ataque a la ciencia por los más poderosos del mundo, es en particular una muy mala noticia la desaparición de un medio de divulgación científica.

Dr. Enrique Galindo Fentanes
Instituto de Biotecnología

Me apena mucho la cancelación de *El faro*. Aprecio mucho el trabajo que ha desarrollado a lo largo de tantos años, en el cual las aportaciones del Instituto de Geografía estuvieron muy presentes y fueron muy valoradas por las personas integrantes del personal académico del Instituto de Geografía. Considero que la presentación de los artículos y de la revista en general fue siempre muy profesional y cumplió con los objetivos de divulgar las investigaciones científicas que se realizan en los institutos y centros de la UNAM.

Dra. María Teresa Sánchez
Directora del Instituto de Geografía

En mi opinión, el contenido de esta publicación es un amplio abanico que cubre los grandes temas de interés nacional sobre ciencia y tecnología, de una manera accesible y amigable y, por lo tanto, de fácil lectura entre sus numerosos lectores, pero siempre manteniendo el rigor científico y técnico que documenta, lo que nos permite asegurar la certeza y confiabilidad de sus fuentes.

Nuestro país sigue presentando un gran vacío en la divulgación de la ciencia y, sobre todo, en dar a conocer la calidad y riqueza de resultados derivados de la investigación científica que, en muchos casos, son de gran utilidad para la sociedad y para la naturaleza. Por ello, el esfuerzo editorial del grupo de colaboradores que hacen posible la publicación de *El faro* es extraordinario. Son escasos los ejemplos de una publicación con estas características, manteniendo su periodicidad con artículos de gran valor e interés para la comunidad universitaria y para la sociedad en general.

Dr. Antonio Lot Helgueras
Instituto de Biología

Aprecio mucho el esfuerzo que ustedes realizan y creo que *El faro* es una revista útil y bien escrita. Si bien los miembros del SIC recibimos información interesante de *El faro*, siento que su principal labor es informar al resto de la comunidad universitaria sobre los logros día a día de nuestros investigadores. No hay otro medio universitario que cumpla ese rol, con esa calidad. Por supuesto, Gaceta hace reportajes, pero son siempre breves y con la premura de la nota que se publica con la prisa de decir "la UNAM lo hizo primero". *El faro* es otra cosa: mayor calidad de impresión y variedad de secciones y temas, pero ligera y fácil de leer (y de cargar) al mismo tiempo".

Dr. Arturo Menchaca
Instituto de Física

Aprecio mucho esta publicación. Contiene una buena mezcla de materiales de relevancia local e internacional. Combina lo actual con lo histórico, las diversas disciplinas y áreas científicas, y todo esto de manera agradable, amena y bien escrita. Los felicito también por su diseño y calidad editorial.

Dra. Ana María Cetto
Instituto de Física

Te felicito a ti Patricia y a tu equipo de colaboradores por esta y las demás entregas que han hecho de forma sostenida, a veces con limitados recursos e incomprendiones para la importante tarea que realizas desde la Coordinación de la Investigación Científica de la UNAM. Lo mejor es que he visto que *El faro* se publica en la web y por eso le he escrito a varios amigos para que lo busquen y puedan leer también los contenidos de este número.

Dr. Héctor Mendoza Vargas
Instituto de Geografía

El boletín *El faro* es ampliamente aceptado en el Instituto. La diversidad de la temática abordada, junto con el alto nivel de los temas tratados y la amenidad de los textos logran interesar al lector en otros temas de interés científico que se desarrollan en nuestra Universidad. Gracias a este boletín nos enteramos del quehacer científico en la UNAM. La accesibilidad de los textos logra que nuestros estudiantes también se culturicen. Incluso amigos y familiares esperan con interés los números para leerlos y conocer más sobre la UNAM. Sin duda alguna, el boletín, como se publica, llena las expectativas de difusión. Ojalá se dé continuidad a su proyecto, ya que de verdad *El faro* es un boletín como no hay otro en nuestro medio para la difusión de la ciencia.

Dra. Ma. Hilda Flores Olvera
Instituto de Biología

El faro me parece un muy buen producto y en mi opinión debe continuar. Los temas que tratan son de actualidad y están escritos para una audiencia amplia. De hecho, considero que en México debemos tener más revistas de divulgación de la ciencia para sensibilizar a más población sobre la importancia de la investigación científica y para atraer más jóvenes a las carreras científicas. ¡Ojalá continúe el boletín *El faro*!

Dr. Federico Graef Ziehl
Director del CICESE (2005-2015)

Quisiéramos felicitarla, Patricia, por su atinada redacción y dirección de la revista. Ha logrado usted que *El faro* cumpla con un objetivo propio y todos esperamos y leemos cada número de punta a punta, lo que constituye toda una hazaña si se toma en cuenta la cantidad de material de lectura que se amontona en nuestros escritorios cada semana. Lo ha hecho usted muy bien y esperamos que siga de éxito en éxito.

El faro es, más que una revista de divulgación, una revista de ideas. No pretende alcanzar un objetivo similar al de la Gaceta; es otra cosa. Leemos la Gaceta con cuidado porque trae cambios administrativos y material sobre la vida interna de la Universidad. *El faro* es una revista académica que nos informa sobre avances en la investigación en nuestro ámbito, que es el de la Coordinación. Estos avances se presentan en un lenguaje que no es técnico y eso es interesante, porque: 1. Nos informa acerca de otros campos de la ciencia que no son los nuestros; y, 2. Nos da una idea de cómo vería un lego el desarrollo de la ciencia que hacemos, con puntos de vista que son más bien los del público general.

Resumiendo, *El faro* nos proporciona un panorama de la ciencia que se practica en la UNAM, que es periódico, ameno, y muy relevante. Espero que su cobertura se vaya ampliando en el futuro porque es buen periodismo científico y nos conviene que nuestro quehacer científico se difunda y se conozca más en los institutos que constituyen la comunidad de la investigación científica de la UNAM.

Dr. Cinna Lomnitz
Instituto de Geofísica
Dra. Heriberta Castañón
Instituto de Investigaciones Económicas

En efecto, contra las opiniones pesimistas, *El faro* se lee dentro y fuera de la UNAM, gracias al profesionalismo y el compromiso del modesto cuerpo editorial que procura mantener el interés de su variadísimo público, con entrevistas y artículos de actualidad, no menos que con la difusión de novedades científicas que suelen quedarse entre los muros de los laboratorios. *El faro* cumple, contra toda predicción, -dados los estrechos recursos que tiene asignados- con una de las tareas decisivas de nuestra Casa de Estudios: la divulgación del conocimiento. Ayuda de esta manera a los investigadores que suelen dejar poco espacio en sus apretadas agendas para atender este imperativo, y favorece el enriquecimiento de la cultura científica en nuestro país.

Dra. Luz Fernanda Azuela Bernal
Instituto de Geografía

El faro, entre sus lectores dentro de los cuales ciertamente me cuento, a mi modo de ver, tiene varias virtudes. Primero, se ha distinguido por su constancia; segundo, la variedad de temas que aborda; tercero, por el lenguaje claro con el que se redactan los artículos y que permite una fácil transmisión de ideas; y, cuarto, por el hecho de que es un órgano de difusión científica que no parece tener, dentro del marco de las universidades públicas, muchos competidores. Todos sabemos lo difícil que es sacar una publicación a tiempo y los editores de *El faro* lo han logrado, lo cual es un mérito incuestionable. A mí me parece que esta se ha ido poco a poco convirtiendo en una pequeña institución a la que nos hemos venido acostumbrando, por lo que no puedo más que desearles que sigan desarrollando la labor de despertar el interés por el conocimiento científico en los jóvenes, y en dar a conocer dentro y fuera de la UNAM el trabajo de muchos de sus más prominentes profesores e investigadores. ¡Felicidades!

Dr. Alejandro Tomasini Bassols
Instituto de Investigaciones Filosóficas

Considero que *El faro* es una publicación de principal importancia dentro del subsistema. Desde su creación, este ha venido a llenar un hueco enorme que impedía la proyección hacia la sociedad en general del quehacer científico en la UNAM. *El faro* ha subsanado esta deficiencia con creces. No obstante, en mi particular opinión, es una publicación que, por su calidad, debería ser mayormente publicitada de modo que su impacto sea aún mayor. Cuenta con mi apoyo entusiasta como participante en cualquiera de las secciones y también como asiduo lector.

Dr. Alejandro Ayala
Instituto de Ciencias Nucleares

Considero que el boletín *El faro* es de buena calidad tanto en contenido como diseño y que ha cubierto eficientemente una de las facetas de divulgación de la Coordinación. Siento que el grado de aceptación ha sido también muy bueno. Es más, yo reforzaría la publicación en alguna de sus secciones para poder publicar actividades del subsistema con mucha mayor profundidad”.

Dr. Jaime Mas Oliva
Instituto de Fisiología Celular

Por este conducto me permito extenderles una fuerte felicitación por su trabajo arduo, continuo y de gran calidad en la producción de *El faro, la luz de la ciencia*, que se ha convertido en una fuente de divulgación de las actividades científicas de la UNAM, no solo a nivel interno, sino que además difundiéndolas a otras instituciones educativas, gubernamentales y medios de comunicación. En particular, estoy muy agradecido con *El faro* al hacer todos los esfuerzos posibles y reportar todos y cada uno de nuestros hallazgos científicos en la fecha que se levantaba el embargo publicitario impuesto por las revistas científicas. Estos mismos reportajes fueron utilizados como fuente de información a los medios de comunicación durante conferencias de prensa.

Les deseo mucho éxito durante la evaluación académica que está próxima a realizarse y confío en que *El faro* seguirá jugando un papel clave en la difusión de nuestro quehacer científico”.

Dr. Rafael Navarro González
Instituto de Ciencias Nucleares

—¡Espérenme! —les gritó—,
 ¡No me dejen en este mundo terrible!
 ¡Quiero irme!
 ¡Va a haber una guerra atómica!
 ¡No me dejen en la Tierra!
 Lo sacaron de allí a rastras.
 Cerraron de un golpe la portezuela
 del coche policial
 y se lo llevaron al alba
 con la cara pegada a
 la ventanilla trasera.
 Poco antes que la
 sirena del automóvil comenzara
 a sonar, al acercarse una curva,
 vio el fuego rojo,
 y oyó el ruido terrible y sintió
 la trepidación con que el cohete
 plateado se elevó abandonándolo
 en una ordinaria mañana de lunes
 en el ordinario planeta Tierra.

Ray Bradbury.
 Título original: *The Taxpayer*.
 Publicado en *Crónicas Marcianas* (1950).



UNAM

Dr. Leonardo Lomelí Vanegas
 Rector

Dra. Patricia Dolores Dávila Aranda
 Secretaria General

Mtro. Tomás Humberto Rubio Pérez
 Secretario Administrativo

Dra. María Soledad Funes Argüello
 Coordinadora de la
 Investigación Científica

BOLETÍN *El faro*

Dr. Juan Servando Nuñez Farfán
 Secretario Académico

Patricia Yolanda de la Peña Sobarzo
 Directora

Yassir Zárate Méndez
 Supervisor editorial

Dalia De la Peña Wíng
Sandra Vázquez Quiroz
José Antonio Alonso García
Edgar Vergara Hernández
 Colaboradores

Victor Manuel Hernández Correa
 Diseño Gráfico

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

Foto de portada: rover *Perseverance*.
 NASA/Caltech



¡Muchas Gracias!

