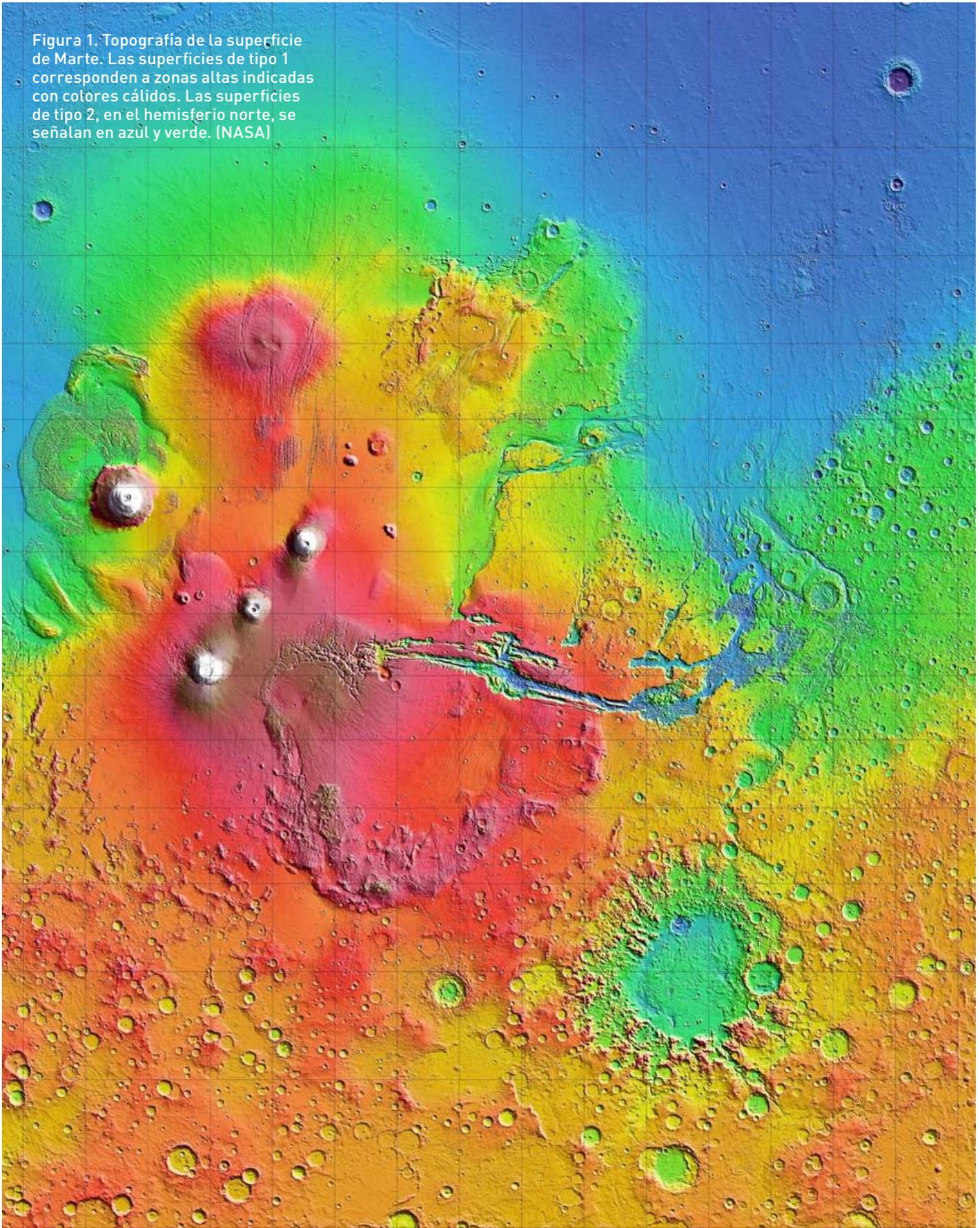
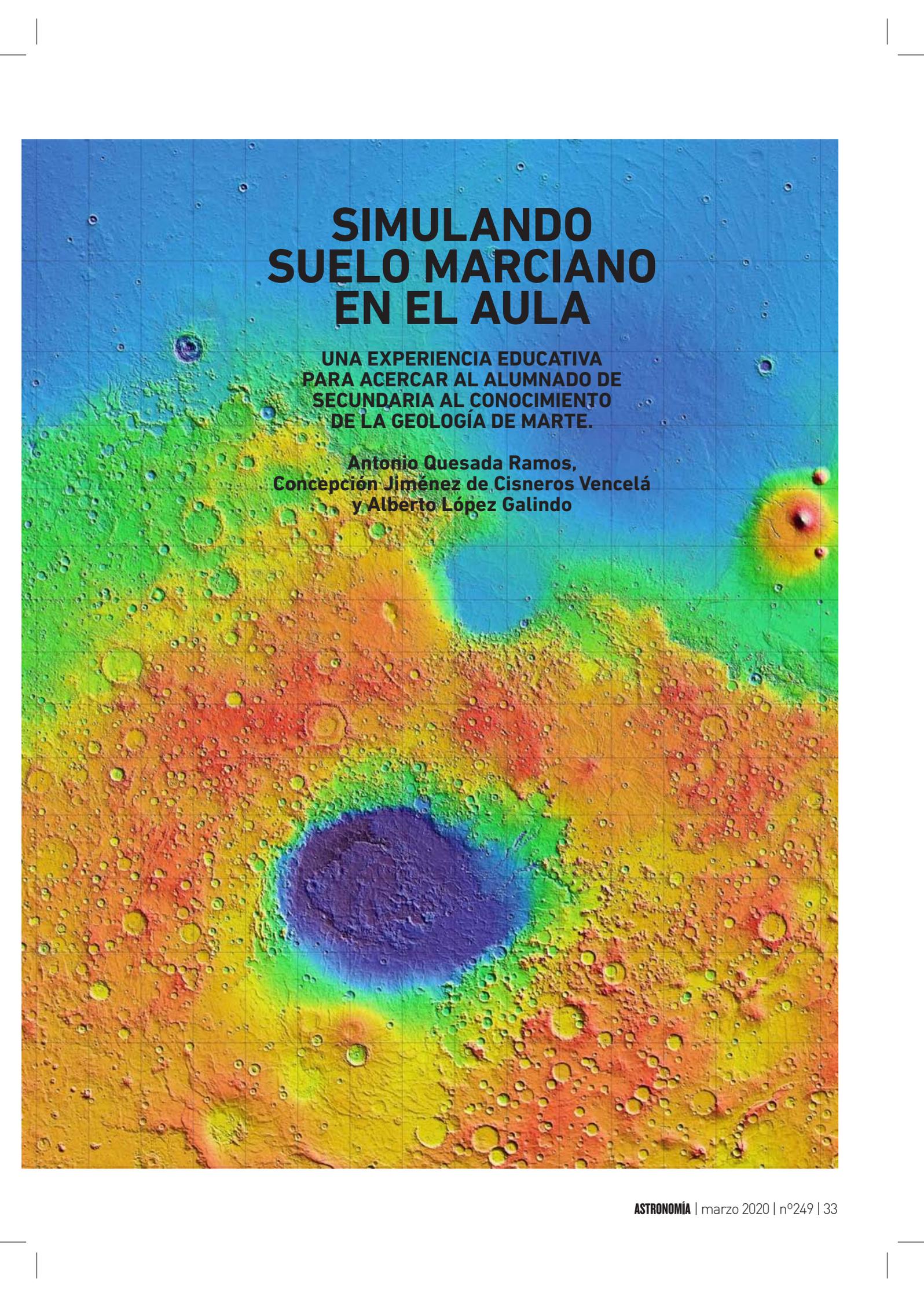


Figura 1. Topografía de la superficie de Marte. Las superficies de tipo 1 corresponden a zonas altas indicadas con colores cálidos. Las superficies de tipo 2, en el hemisferio norte, se señalan en azul y verde. [NASA]





SIMULANDO SUELO MARCIANO EN EL AULA

**UNA EXPERIENCIA EDUCATIVA
PARA ACERCAR AL ALUMNADO DE
SECUNDARIA AL CONOCIMIENTO
DE LA GEOLOGÍA DE MARTE.**

**Antonio Quesada Ramos,
Concepción Jiménez de Cisneros Vencelá
y Alberto López Galindo**

LA COLABORACIÓN ENTRE UN INSTITUTO DE EDUCACIÓN SECUNDARIA Y CENTROS DEL CSIC PROPICIA UN PROYECTO DIDÁCTICO QUE VALORA LA POSIBILIDAD DE QUE ORGANISMOS TERRESTRES PUDIERAN SOBREVIVIR EN MARTE. EL PRIMER PASO FUE LA OBTENCIÓN DE UN ANÁLOGO DE SUELO MARCIANO.

Marte es un objetivo astrobiológico de primera magnitud. Sus condiciones ambientales en el pasado fueron similares a las de la Tierra, con una atmósfera más densa que la actual y unas temperaturas mucho más suaves que propiciaron la existencia de grandes masas de agua líquida en su superficie. Y al igual que la vida surgió en nuestro planeta, quizá también pudo hacerlo en Marte. Todo esto, unido a su cercanía, hacen del planeta rojo el lugar más inmediato del universo en el que buscar vida extraterrestre, pasada o presente. Por otro lado, los avances en la exploración espacial hacen prever que en un futuro no muy lejano haya misiones tripuladas, y por qué no, asentamientos estables habitados por seres humanos. Y estos requerirán sistemas de apoyo vital en los que tanto los microorganismos como las plantas serán algo imprescindible para asegurar la supervivencia de las personas.

Investigar en nuestros laboratorios la posibilidad de que esos organismos terrestres pudieran sobrevivir en Marte requiere reproducir de la manera más fidedigna posible el entorno y las condiciones del planeta rojo. Y aunque existe tecnología para simular el ambiente de Marte, aún no se dispone de muestras originales de suelo marciano en las que ensayar el posible desarrollo de plantas y microorganismos. Esta dificultad se puede soslayar, sin embargo, con el desarrollo de análogos de suelo de Marte. Se trata de suelos simulados que replican la composición de los materiales que componen el regolito marciano, diseñados en base a los datos obtenidos por las distintas sondas espaciales que han estudiado el planeta rojo y elaborados a partir de minerales y rocas terrestres.

En el IES Zaidín Vergeles de Granada hemos querido acercar a nuestro alumnado a la exploración del planeta Marte. Para ello desarrollamos un proyecto educativo en colaboración con dos centros de investigación, el Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra (UGR-CSIC) y la Estación Experimental del Zaidín (CSIC), encaminado a que nuestros estudian-



tes valoren si organismos terrestres, como bacterias o plantas, pudieran sobrevivir en Marte. El primer paso fue disponer de un análogo de suelo marciano, es decir, un material que en cuanto a composición y textura fuese lo más parecido posible al regolito marciano y en el que pudiéramos ensayar el cultivo de plantas. Para llevarlo a cabo fue necesario, en primer lugar, estudiar la naturaleza de los materiales que componen el suelo de Marte, elegir un material adecuado para elaborarlo que fuese asequible para un centro educativo, analizar la composición química y mineralógica de nuestro análogo y, finalmente, evaluar su similitud con los suelos marcianos.

LOS MATERIALES DE LA SUPERFICIE DE MARTE

Marte está constituido fundamentalmente por rocas ígneas. Los primeros resultados a escala global sobre la composición de los materiales de su superficie se obtuvieron mediante la sonda *Mars Global Surveyor*. Este orbitador disponía de un espectrómetro de emisión térmica que analizó la radiación infrarroja que emitían las rocas y permitió diferenciar dos grandes unidades de naturaleza volcánica (Bandfield *et al.* 2000).

FIGURA 2. *Curiosity* en la formación Rocknest en el cráter Gale. El módulo CheMin analizó por primera vez los minerales de Marte mediante difracción de rayos X. (NASA/JPL-Caltech/Malin Space Science Systems)

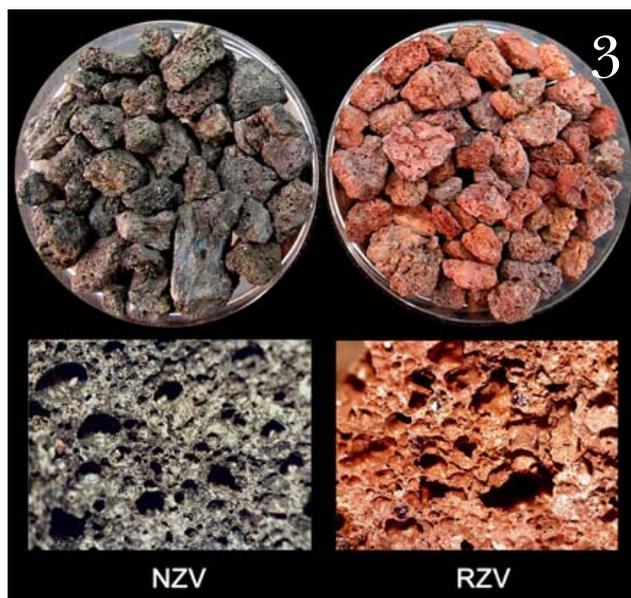
FIGURA 3. Muestras NZV y RZV. Fragmentos, arriba, y aspecto vesicular de las muestras bajo la lupa, abajo. (Excepto donde se indique, todas las imágenes son cortesía de los autores)

Las denominadas superficies de tipo 1 (ver Figura 1) son regiones en las que predominan materiales de composición basáltica; en ellas abundan minerales como plagioclasas y clinopiroxenos. Ocupan las tierras altas del hemisferio sur, como Terra Cimeria o Noachis Terra, zonas muy craterizadas formadas en las épocas más antiguas de la historia de Marte, las eras Noeica (hace 4500-3500 millones de años, m.a.) y Hespérica (3500-1800 m.a.).

Las superficies de tipo 2 están conformadas por rocas con un mayor contenido de sílice y de vidrio volcánico. Se identificaron como andesitas o andesitas basálticas y provenían de lavas con minerales como plagioclasas y piroxenos. Se encontraban en las tierras bajas que conforman el hemisferio norte, en regiones como Acidalia Planitia y Vastitas Borealis. Estos materiales parecen haber sido dominantes en la época más reciente de la historia de Marte, la era Amazónica (1800 m.a. - presente).

La presencia de rover en la superficie de Marte ha permitido un análisis más exhaustivo de los materiales marcianos gracias a la aplicación de técnicas como la fluorescencia de rayos X o la difracción de rayos X. La primera proporciona información acerca de la composición química de los materiales y fue aplicada por primera vez por las sondas *Viking*. La segunda resuelve la composición mineralógica de las rocas y se ensayó por primera vez en Marte gracias a un difractómetro presente en el módulo CheMin a bordo del rover *Curiosity* (Figura 2; Bish *et al.*, 2014). Está previsto que instrumentos similares formen parte del instrumental de las sondas *Exomars* y *Mars2020*.

Las técnicas de rayos X han revelado un patrón complejo en la mineralogía de Marte, al que contribuyen minerales procedentes de rocas ígneas primitivas –siendo los más abundantes olivino, piroxenos y plagioclasas–, componentes amorfos y otros minerales como hematites –óxidos de hierro responsables del color rojo del planeta–, arcillas y sulfatos como la jarosita o la alunita. La



génesis de estos últimos se ha relacionado con la presencia de agua.

ANÁLOGOS DE SUELO MARCIANO

El hecho de que los minerales y rocas presentes en Marte también se encuentren en nuestro planeta es el punto de partida para la elaboración de simuladores de suelo marciano. Se aplican distintos procedimientos. Unos de ellos se construyen a partir de rocas terrestres que muestran características físico-químicas similares a las estudiadas en Marte. Otros se elaboran mediante la mezcla, en las proporciones adecuadas, de los distintos minerales que se han identificado en los suelos del planeta rojo. En ambos casos, sus propiedades deben coincidir con las del material original.

El primer análogo que se preparó fue el denominado JSC Mars-1. Procedía directamente de cenizas volcánicas vítreas meteorizadas del Pu'u Nene, un cono volcánico situado en la cara sur del volcán Mauna Kea, en Hawái. El espectro de reflexión de este material coincidía con el del polvo que cubre gran parte de las regiones de Marte. Otro fue el MMS (*Mars Mojave Simulant*), preparado a partir de basalto extraído de la región occidental del desierto de Mojave. Este presentaba la ventaja de que se podía presentar en fragmentos de distinta granulometría mediante triturado mecánico de los bloques de dicha roca. A diferencia del análogo anterior, en este predominaba el material cristalino.

Ejemplos de los reconstituidos a partir de minerales y material vítreo son el MGS-1 (*Mars Global Si-*

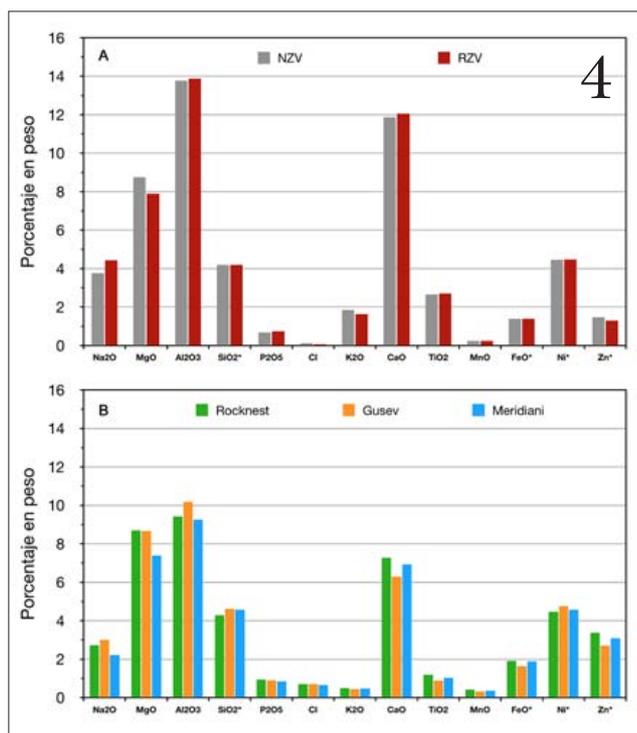


FIGURA 4. Composición elemental de las muestras NZV y RZV. Comparación con suelos marcianos. Los valores de SiO₂ se representan divididos entre diez; los de níquel y zinc, multiplicados por diez.

FIGURA 5. Diagrama TAS (álcalis totales frente a sílice) para las muestras RZV y NZV y para distintos materiales de Marte.

mulant 1) o el Y-Mars (*Yellowknife Mars*). El primero se modeló sobre la base del material eólico analizado por *Curiosity* en el depósito eólico de Rocknest, en el cráter Gale; se trata de uno de los suelos marcianos mejor caracterizados gracias a la difracción de rayos X. El segundo se elaboró a partir de los minerales identificados en las lutitas de la formación Shepbed; esta es una estructura sedimentaria estudiada por *Curiosity* en el fondo del mismo cráter, cuyo análisis sugería la existencia de un lago hace unos 4000 m.a.

UN ANÁLOGO DE SUELO MARCIANO EN EL AULA

Una vez conocida a partir de la literatura la composición de los distintos materiales que constituyen los suelos de Marte elegimos escoria volcánica como punto de partida para simular nuestro suelo marciano. Se trata de un material piroclástico con abundantes vesículas que se puede adquirir comercialmente en fragmentos de pequeño tamaño dado su uso habitual en jardinería. En general, su composición es basáltica o andesítica con un elevado porcentaje de vidrio volcánico, características que la asemejan a las rocas que describen la composición global de las superficies de tipo 2 de Marte. Al igual que el procedimiento utilizado para la obtención de análogos JSC-Mars o MMS, partíamos de rocas terrestres para simular el regolito marciano.

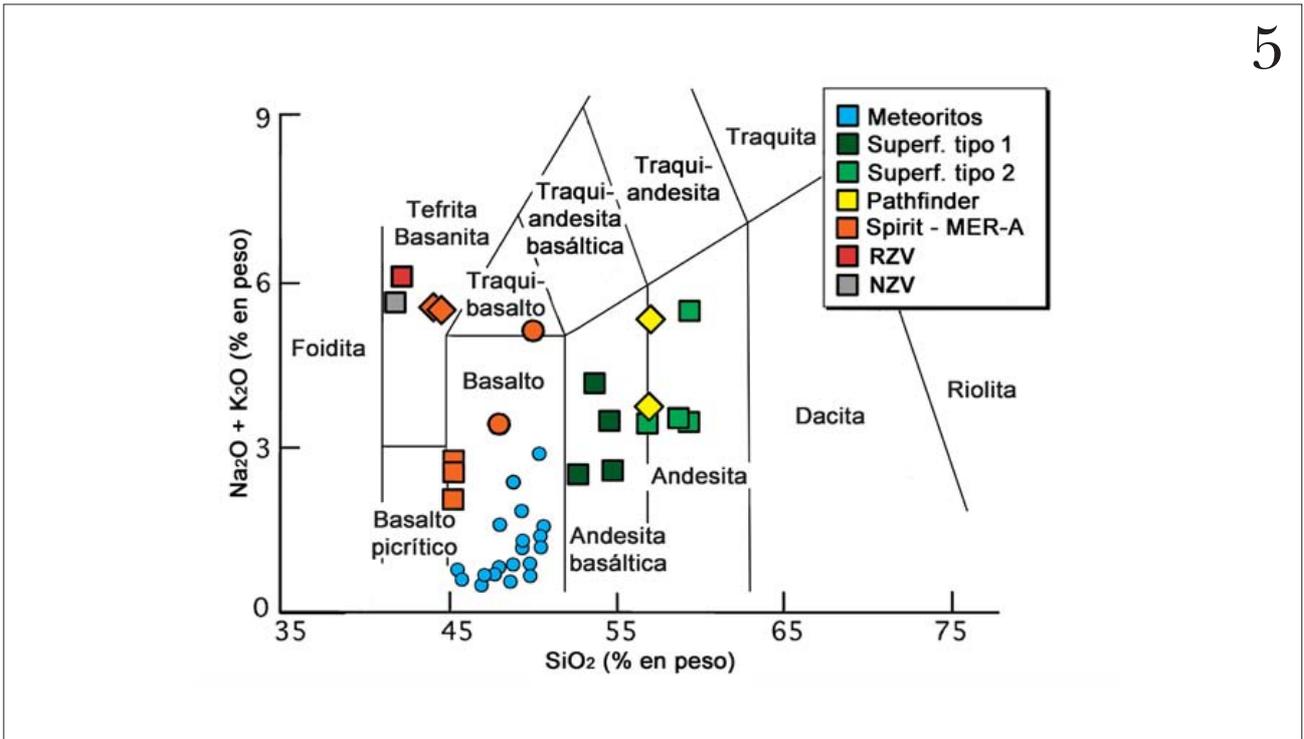
La escoria volcánica se suministró en fragmentos de un tamaño comprendido entre 12 y 18 mm. Tras su lavado pudimos comprobar que estaba constituida por una mezcla de piroclastos de color negro y rojo, los que respectivamente separamos en las denominadas muestras NZV y RZV (Figura 3).

Para estudiar en qué medida la composición de nuestras rocas era similar a las descritas en Marte, nuestras muestras fueron analizadas en el Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra, centro mixto perteneciente a la Universidad de Granada y al Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Se utilizaron las técnicas de fluorescencia y difracción de rayos X, las mismas que aplica en Marte el módulo CheMin, uno de los instrumentos a bordo del rover *Curiosity*.

El análisis mediante fluorescencia de rayos X reveló la composición química de las muestras NZV y RZV. En ambos casos, los resultados indicaron una composición similar, salvo pequeñas diferencias en cuanto a los óxidos de magnesio, sodio, potasio y elementos tales como Cl, S y Rb. Los valores se comparan gráficamente en la Figura 4A.

Seguidamente procedimos a comparar nuestros datos con los obtenidos en Marte. La Figura 4B describe la composición elemental del suelo de tres regiones del planeta rojo (elaborado a partir de los datos descritos por Blake *et al.*, 2013). Estas son el cráter Gusev, Meridiani Planum y el cráter Gale, analizados respectivamente por los rover *Spirit*, *Opportunity* y *Curiosity*. Nuestras muestras mostraban una mayor proporción de óxidos de calcio, aluminio y sodio y un menor porcentaje de sílice.

Conocer la composición química de nuestras muestras nos permitió averiguar la naturaleza de las rocas de las que procedían y valorar su similitud con las marcianas. Para ello comparamos gráficamente el porcentaje de sílice (SiO₂) presente en las muestras frente al porcentaje de óxidos alcalinos (la suma de los porcentajes de óxidos de sodio y potasio, Na₂O y K₂O). Estas representaciones, denominadas TAS (álcalis totales frente a sílice), también



se han aplicado en Marte y son especialmente útiles en rocas volcánicas en las que puede haber una proporción importante de vidrio volcánico. Nuestros resultados indican que nuestras rocas se pueden identificar como tefritas basanitas.

La Figura 5 muestra el diagrama TAS para distintos materiales analizados en la superficie de Marte y para diversos meteoritos marcianos (adaptado de McSween *et al.*, 2006) sobre el que se han superpuesto los valores para las muestras NZV y RZV. Nuestras rocas muestran una composición próxima a rocas marcianas analizadas por el rover *Spirit*. Concretamente este demostró la presencia de tefritas en la formación Columbia Hills, en el cráter Gusev.

La composición mineralógica de nuestras rocas se determinó mediante difracción de rayos X. Los difractogramas obtenidos para las muestras NZV y RZV se muestran en la Figura 6. Los picos cristalográficos más importantes demostraron la presencia en ambas muestras de un piroxeno, el diópsido, nefelina, microclina, olivino y una plagioclasa, la labradorita. Algunos de estos minerales se han identificado en Marte. La muestra RZV mostraba, además, un pico correspondiente a hematites ausente en la NZV. Este mineral, al igual que en Marte, explicaría el color rojizo de esos fragmentos. En ambos casos había una proporción importante de vidrio volcánico.

CONCLUSIONES

Los resultados de los análisis de rayos X aplicados a las muestras NZV y RZV indican que las escorias volcánicas estudiadas muestran una composición química y mineralógica en cierta medida próxima a la de algunos materiales presentes en la superficie de Marte. Tomando como ejemplo el depósito de la formación arenosa de Rocknest, en este se encontraron minerales como plagioclasas, olivino, piroxenos y hematites, algunos de ellos presentes en nuestras muestras. Y al igual que en ellas, había una proporción importante de material vítreo. En localizaciones como Columbia Hills también se han encontrado tefritas, rocas con una composición química próxima a la de nuestras escorias volcánicas. Concluimos que nuestras rocas eran apropiadas para elaborar el análogo de suelo marciano.

Dada la diferencia observada en la composición mineralógica de nuestras muestras, nos decidimos por la muestra RZV –dado su contenido en hematites– como punto de partida para la elaboración de nuestro análogo de suelo marciano. Las rocas se lavaron durante un mínimo de cuatro horas en agua corriente para arrastrar la materia orgánica que pudieran contener y se secaron en una estufa a 70° C. Posteriormente se trituraron en fragmentos de distinto tamaño. Finalmente fueron esterilizadas para eliminar todo vestigio

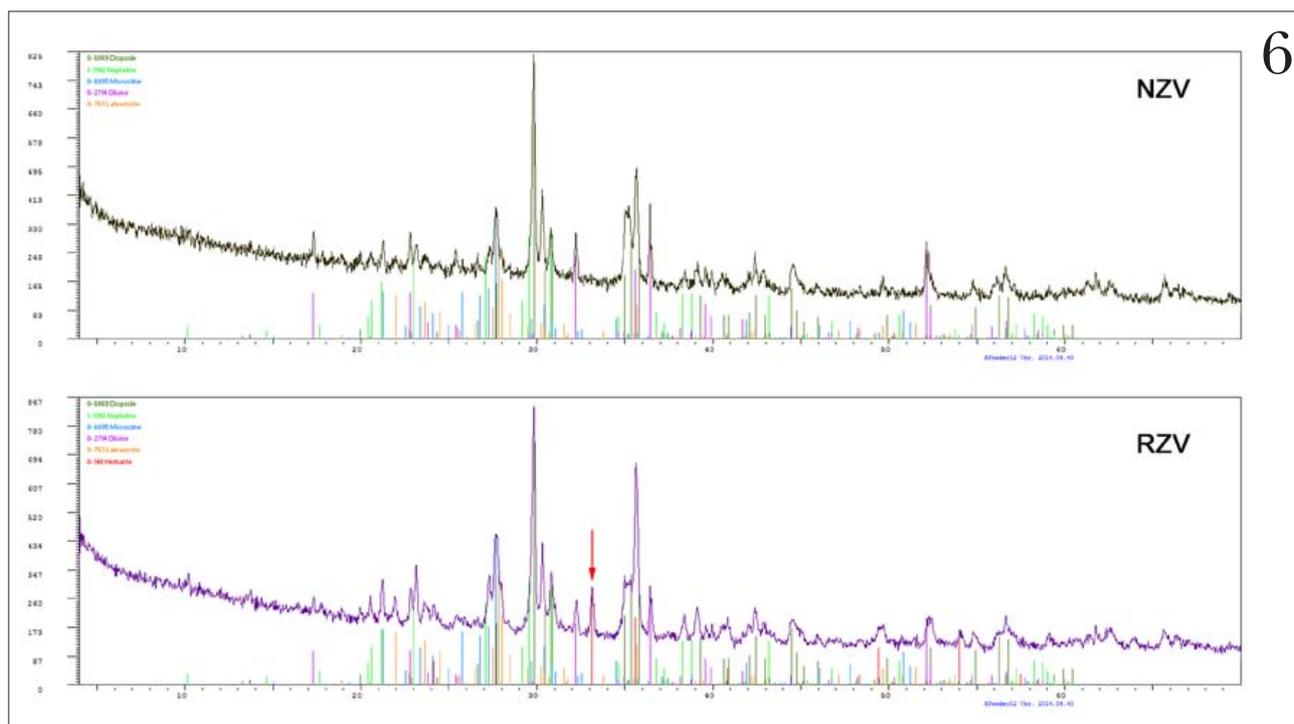


FIGURA 6. Difractogramas de rayos X para las muestras NZV y RZV. La flecha roja indica la presencia de hematites en los fragmentos RZV.

de vida terrestre sometiénolas a dos ciclos de autoclave a 121° C durante 15 minutos.

Aunque la aplicabilidad de este suelo marciano simulado en el ámbito estrictamente científico sería limitada, desde un punto de vista educativo la preparación de este análogo ha constituido una herramienta de gran valor para acercar al alumnado de secundaria al conocimiento de la geología de Marte y a los métodos de estudio que aplican los rover en el planeta rojo. Proyectos como este, que suponen la colaboración entre institutos de secundaria y centros de investigación, indudablemente abren nuevas puertas al conocimiento, a la formación de quienes serán los científicos del futuro y demuestran que la exploración del planeta rojo puede comenzar desde nuestras aulas. **(A)**

Referencias

— Bandfield, J. L., Hamilton, V. E., Christensen, P. R. (2000). «A global view of martian surface compositions from MGS-TES». *Science*, 287:1626-1630.

— Bish, D., Blake, D., Vaniman, D., Sarrazin, P., Bristow, T., Achilles, C. *et al.* (2014). «The first X-ray diffraction measurements on Mars». *IUCrJ*. Disponible en: ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4224469.

— Blake, D. F., Morris, R. V., Kocurek, G., Morrison, S. M., Downs, R. T., Bish, D. *et al.* (2013). «Curiosity at Gale crater, Mars: characterization and analysis of the Rocknest sand shadow». *Science*. 341(6153).

— Cannon, K. M., Britt, D. T., Smith, T. M., Fritsche, R. F., Batchelder, D. (2019). «Mars global simulant MGS-1: A Rocknest-based open standard for basaltic martian regolith simulants». *Icarus*. Disponible en: [sciencedirect.com/science/article/pii/S0019103518303038](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0019103518303038).

— McSween, H. Y. *et al.* (2006). «Alkaline volcanic rocks from the Columbia Hills, Gusev crater, Mars». *J. Geophys. Res.*, 111, E09S91, doi:10.1029/2006JE002698.



Antonio Quesada Ramos es profesor en el IES Zaidín Vergeles, Granada. **Concepción Jiménez de Cisneros Vencelá** y **Alberto López Galindo** son investigadores en el Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra (UGR-CSIC).