

TRABAJO FINAL DE MÁSTER

"Geo-Mars: Aprendiendo geología utilizando datos de las misiones espaciales a Marte"

Máster de Formación de Profesorado en Educación Secundaria
Obligatoria y Bachillerato, FP y enseñanza de Idiomas.

Especialidad Biología y Geología

Curso académico 2020-2021

Alumno: Semidán Robaina Estévez

Dirección: María Candelaria Martín Luis

Convocatoria: Septiembre

En línea con la Ley Orgánica 3/2007, de 22 de marzo (BOE No. 71 de 23-03-2007), para la igualdad efectiva de mujeres y hombres, y con la Ley 1/2010, de 26 de febrero, Canaria de Igualdad entre Mujeres y Hombres (BOC No. 45 de 05-03-2010), se ha utilizado el lenguaje inclusivo durante la elaboración de este documento. Además, toda referencia a colectivos de personas de ambos géneros contenida en este documento, y cuyo género gramatical sea masculino, se entenderá referida a ambos géneros.

Índice

1. Introducción.....	1
2. Planteamiento del problema.....	2
2.1 Enseñar Geología a través de Marte: antecedentes.....	3
2.2 Marte: un desierto helado muy similar a la Tierra.....	3
2.3 Justificación de la propuesta de innovación.....	5
3. Objetivos.....	7
4. Plan de intervención.....	8
4.1 Marco legal.....	8
4.2 Contextualización de la innovación.....	8
4.3 Criterios de evaluación y competencias clave.....	10
4.4 Diseño de la propuesta de innovación.....	13
4.4.1 Descripción de la actividad: La misión ExoLife2028.....	13
4.4.2 Sobre la plataforma web Mars Trek.....	14
4.4.3 Variables y sistema de puntuación.....	15
4.5 Secuenciación de la actividad.....	21
4.6 Evaluación.....	25
5. Plan de seguimiento.....	27
6. Resultados y propuesta de mejora.....	28
6.1 Resultados.....	28
6.2 Propuesta de mejora.....	30
7. Conclusiones.....	31
8. Referencias bibliográficas.....	32
Anexo I: Guía de la práctica.....	36
Anexo II: Ejemplo de informe de la práctica.....	50
Anexo III: Cuestionario anónimo de evaluación de la actividad.....	55

Resumen

En este trabajo presento una propuesta de innovación docente para la enseñanza de contenidos geológicos dentro de la asignatura de Biología y Geología de 1º de Bachillerato. Específicamente, propongo emplear algunos aspectos de la geología marciana como recurso didáctico para la enseñanza de contenidos geológicos. Para ello, desarrollo una actividad de tipo investigación cooperativa, en la que el alumnado participa en el diseño de una misión ficticia al planeta Marte para buscar indicios de vida pasada. Durante la actividad, el alumnado aplicará conocimientos de un criterio de evaluación del currículo oficial al proponer un cráter de impacto candidato como destino de la misión. He diseñado esta propuesta guiándome por los principios del aprendizaje significativo, aprendizaje por descubrimiento, aprendizaje cooperativo y la gamificación.

Palabras clave: Innovación educativa, Bachillerato, Geología, Marte, Topografía.

Abstract

In this work, I present a proposal for the innovative teaching of geological contents within the subject of Biology and Geology of eleventh grade (1º de Bachillerato in the Spanish education system). Specifically, I propose to employ some aspects of Martian geology as an innovative strategy for the teaching of geological contents. To this end, I develop a cooperative-investigative type of activity, in which students participate in the design of a fictitious mission to planet Mars aimed at finding signs of past life. During the activity, students will apply content from the official curriculum to propose a candidate impact crater as a destination for the mission. I have designed this proposal guided by the principles of meaningful learning, learning by discovery, cooperative learning, and gamification.

Keywords: Educational innovation, Highschool, Geology, Mars, Topography.

1. Introducción

La enseñanza de la Geología en secundaria presenta algunas dificultades. Por una parte, la representación de la Geología en las programaciones curriculares es escasa, y, además, los contenidos no se secuencian de forma óptima para la didáctica de la Geología (Pedrinaci, 2011). Por otra parte, la gran magnitud de las escalas espaciales y temporales de los procesos geológicos puede confundir al alumnado, y generar concepciones erróneas sobre los procesos geológicos, e.g., pensamiento fijista (Pedrinaci, 1992, 1996). Esta característica de los procesos geológicos también dificulta la contextualización de los contenidos a una realidad cercana al alumnado, lo cual ha demostrado ser importante para garantizar el aprendizaje significativo de los mismos (Guarro Pallás, 2002).

La innovación docente ofrece la posibilidad de mejorar el proceso de enseñanza - aprendizaje de la Geología en secundaria. Por ejemplo, se ha demostrado que la enseñanza activa, e.g., la realizada a través de proyectos de investigación cooperativa, fomenta notablemente el aprendizaje significativo de los contenidos, al delegar en el alumnado parte de la responsabilidad de su propio aprendizaje así como el de sus compañeras y compañeros (Guarro Pallás, 2002). De forma similar, la gamificación del proceso de enseñanza-aprendizaje, i.e., aprender jugando, se sitúa como un excelente recurso didáctico para aumentar el aprendizaje significativo (Pereira & Carballal, 2021).

Innovación docente también es situar los contenidos objeto de estudio en otro contexto diferente al usual. Esta estrategia facilita, por una parte, la democratización o el acercamiento de los contenidos a una realidad más cercana a la del alumnado, y, por otra parte, el aprendizaje significativo, al fomentar el pensamiento por analogía y aumentar el nivel de abstracción de los contenidos. La geología presenta, de forma natural, la posibilidad de situar muchos de sus contenidos en un contexto diferente: sólo es necesario trasladar esta ciencia a otro planeta que presente procesos geológicos similares a los terrestres.

Siguiendo la línea anterior, Marte se sitúa como el planeta candidato perfecto en el que contextualizar contenidos geológicos de forma innovadora. Por una parte, Marte es

geológicamente muy similar a la Tierra, siendo ambos planetas rocosos, con una estructura global similar, y que comparten muchos procesos geológicos (Pardo-Igúzquiza, 2019). Por otra parte, Marte es un planeta familiar para el alumnado, es escenario común de películas, videojuegos, y protagonista frecuente en los medios de comunicación debido a las numerosas misiones, ocurridas o planeadas, al planeta rojo — en estos momentos, en 2021, hay 11 misiones activas en Marte (The Planetary Society, 2021), las cuales incluyen la misión InSight, dedicada exclusivamente al estudio de la geología marciana (NASA, 2021) — así como debido a los proyectos de colonización humana proyectados para un futuro cercano (SpaceX, 2021). En conjunto, estas características hacen que Marte sea un recurso didáctico excelente para la enseñanza de contenido geológico.

La presente propuesta de innovación utiliza un aspecto de la geología marciana, el relieve, junto con un mapa topográfico del planeta, como recurso didáctico para el aprendizaje del concepto y la utilización de un mapa topográfico, así como de la interpretación de perfiles de elevación del terreno. Siguiendo metodologías activas de aprendizaje y de gamificación, esta propuesta desarrolla una actividad de investigación grupal, en la que el alumnado participará en el diseño de una misión científica ficticia al planeta Marte, con el objetivo de encontrar indicios de vida pasada en antiguos cráteres de impacto sobre la superficie marciana. La actividad desarrollada ha sido puesta en práctica con éxito en dos grupos de 1º de Bachillerato.

2. Planteamiento del problema

Como vimos en la sección anterior, la característica principal de esta propuesta de innovación es la utilización de la geología marciana como recurso educativo para la enseñanza de contenido geológico en secundaria. Sin embargo, los currículos de secundaria, no contemplan expresamente el estudio de otra geología que no sea la terrestre. Esta circunstancia cuestiona la validez de la utilización de la geología marciana como recurso educativo para comprender procesos geológicos acontecidos en la Tierra. En esta sección, introduciré algunos antecedentes en la literatura en los cuales se propone el empleo de la geología marciana como recurso educativo, para luego finalizar con una justificación de la elección de este recurso en la propuesta de innovación.

2.1 Enseñar Geología a través de Marte: antecedentes

En la literatura educativa podemos encontrar varias propuestas de enseñanza-aprendizaje de conceptos geológicos a través de la geología marciana. En esta línea, cabe destacar el proyecto europeo “Schools Tune Into Mars” (STIM) (*STIM Project*, s. f.), el cual presenta un conjunto de actividades educativas destinadas a la enseñanza-aprendizaje de varios aspectos de la geología marciana, incluidos procesos geológicos internos y externos, y desarrolladas para el alumnado de educación secundaria. Estas actividades emplean metodologías activas de enseñanza-aprendizaje, y, además, en ellas se hace una comparativa de los distintos procesos geológicos entre Marte y la Tierra. En la literatura encontramos otros trabajos que proponen utilizar la geología marciana como recurso educativo. Por ejemplo, De Paor et al. (2016) proponen una adaptación de Google Earth para la enseñanza de conceptos de geología planetaria en nuestro Sistema Solar, incluyendo al planeta Marte. Por otra parte, Chan & Kahmann-Robinson (2014) proponen la geología comparada entre la Tierra y Marte para comprender mejor los procesos geológicos marcianos.

Finalmente, y a diferencia de los trabajos anteriores, Pardo-Igúzquiza (2019) utiliza un conjunto de datos muy específico como recurso educativo para enseñar conceptos geológicos en educación secundaria: los datos topográficos generados por el instrumento MOLA (Mars Orbiter Laser Altimeter) dentro de la misión Mars Global Surveyor (Smith et al., 2001). Específicamente, Pardo-Igúzquiza (2019) plantea la utilización de datos topográficos como recurso educativo para desarrollar actividades de geología comparada entre ambos planetas.

2.2 Marte: un desierto helado muy similar a la Tierra

Los currículos oficiales de secundaria no contemplan, expresamente, la enseñanza de procesos geológicos acontecidos en Marte. Sin embargo, el planeta rojo se comporta, en muchos aspectos, de manera similar a la Tierra. En esta sección, introduzco las características más relevantes de este planeta, a modo de preparación para la siguiente sección de justificación de la propuesta de innovación.

Marte se presenta, a primera vista, como un mundo muy diferente a la Tierra. Tiene un tamaño sólo algo superior a la mitad de la Tierra, y una gravedad que no llega al tercio de la terrestre. Su atmósfera está compuesta casi en su totalidad por CO₂ y es muy tenue, con una densidad media menor del 1% de la terrestre. Además, Marte recibe, en promedio, alrededor de un 40% de la radiación solar que recibe la Tierra, debido a una mayor distancia media al Sol con respecto a la terrestre. Esta atmósfera tan tenue, y la menor incidencia de radiación solar, hacen que la temperatura media planetaria en Marte se sitúe en torno a los -63 °C, condiciones incompatibles con el agua en estado líquido en la superficie. Marte es un desierto helado (Carr, 2021).

Sin embargo, Marte también presenta muchas similitudes con la Tierra, debido a que ambos son planetas rocosos, que se han formado a través de procesos similares. Esto conlleva a que Marte tenga una estructura interna similar a la terrestre, dividida en corteza, manto, y un núcleo, que también se encuentra en estado líquido (Stähler et al., 2021). Además, como la Tierra, Marte también ha registrado importantes procesos geológicos internos y externos a lo largo de su historia, los cuales han moldeado estructuras de gran interés geológico. La zona ecuatorial de Marte muestra dos ejemplos de estas estructuras: los *Valles Marineris* y la provincia volcánica de Tharsis. *Valles Marineris* es un gigantesco sistema de cañones que se extiende unos 4000 Km sobre la superficie marciana, y que es resultado de actividad tectónica temprana en Marte (Andrews-Hanna, 2012). Mientras que la provincia volcánica de Tharsis contiene los mayores edificios volcánicos descubiertos en nuestro Sistema Solar, siendo el mayor de ellos el monte Olimpo. Posiblemente, estos volcanes sean resultado de la actividad de puntos calientes en la corteza marciana, de modo análogo al origen de varios edificios volcánicos terrestres, como los volcanes Mauna Loa y Mauna Kea, en la isla grande de Hawaii (Mouginis-Mark et al., 2021).

Los cráteres de impacto, depresiones en la superficie debidas al impacto de asteroides o cometas, constituyen otro ejemplo de estructura geológica de gran interés que también podemos encontrar en la Tierra. Sin embargo, algunas características de Marte — particularmente la ausencia de tectónica de placas, la baja densidad atmosférica, y la ausencia de océanos durante la mayor parte de la historia del planeta — han hecho que, a diferencia de la Tierra, los cráteres de impacto se acumulen y distribuyan por prácticamente

la totalidad de la superficie marciana. Además, muchos cráteres de impacto antiguos presentan evidencias de haber contenido agua líquida en el pasado, tanto por la presencia de estructuras fluviales como por la de rocas y minerales asociados a ambientes acuáticos, características que los convierten en lugares idóneos para el estudio del pasado geológico marciano y para la búsqueda de posibles indicios de vida (Nazari-Sharabian et al., 2020).

2.3 Justificación de la propuesta de innovación

El currículo de Biología y Geología de 1º de Bachillerato no contempla, expresamente, el estudio de la geología de otro planeta que no sea la Tierra. Sin embargo, como se ha visto en la sección anterior, y también como argumenta Pardo-Igúzquiza (2019), Marte es un planeta análogo a la Tierra en varios aspectos, incluidos muchos procesos geológicos que son contenido del currículo oficial. Estas características posibilitan la utilización de Marte como recurso didáctico para la enseñanza de contenido geológico, lo cual ofrece una serie de ventajas generales, entre ellas:

- I. Aumento de la motivación del alumnado por aprender procesos geológicos. Presentar los procesos geológicos en otro planeta diferente a la Tierra puede aumentar el interés del alumnado por el aprendizaje de los mismos. Marte presenta procesos geológicos similares a los terrestres y, además, aporta un contexto nuevo, desconocido y exótico, que puede incrementar la curiosidad y la motivación del alumnado por aprender. Además, en los últimos años, el atractivo y la popularidad de Marte se han visto incrementados ante las numerosas misiones destinadas a este planeta, y cuyo objetivo principal es la búsqueda de indicios de vida marciana (e.g., la misión Curiosity y la más reciente Perseverance), y ante la posibilidad, cada vez más cercana, de una misión tripulada al planeta vecino (SpaceX, 2021).
- II. Mejor integración de los conocimientos geológicos al incrementar el nivel de abstracción. El alumnado puede comparar el mismo proceso geológico en ambos planetas, evaluar las diferencias y las semejanzas, y con ello, abstraer principios geológicos generales de las particularidades de cada planeta.

- III. Incremento de la cantidad de datos geológicos disponibles. Las numerosas misiones a Marte han generado una cantidad muy grande de datos de contenido geológico que son accesibles de forma libre, esta fuente de datos adicional facilita el desarrollo de actividades de enseñanza-aprendizaje que requieran datos geológicos. Un buen ejemplo de este aporte extra de datos geológicos son los datos topográficos procedentes del instrumento MOLA utilizados en esta propuesta de innovación. Hasta la fecha, Marte es el cuerpo celeste con el mejor mapa topográfico a escala global disponible, mejorando la resolución que tenemos disponible para la Tierra (Smith et al., 2001). Esto se debe, fundamentalmente, a la ausencia de océanos en Marte, lo cual facilita la lectura de la topografía *via* satélite.

De manera específica, la presente propuesta de innovación se inspira en las ideas planteadas en Pardo-Igúzquiza (2019), esto es, la utilización de datos topográficos de Marte como recurso educativo para la enseñanza de conceptos geológicos. Utilizar datos topográficos ofrece dos ventajas principales frente al empleo de imágenes satelitales para el estudio de estructuras geológicas. Por una parte, la resolución espacial de los datos topográficos del instrumento MOLA es muy alta, con una resolución de 330 metros en toda la superficie marciana y de un metro en altura (Smith et al., 2001). Por otra parte, los datos topográficos facilitan el estudio del relieve: evitan distracciones al contener sólo la información relevante para el análisis del mismo y facilitan el cálculo de diferencias en elevación así como la obtención de perfiles de elevación.

Esta propuesta de innovación modifica y añade varios puntos clave con respecto a la propuesta de Pardo-Igúzquiza (2019), específicamente:

- I. No explora los datos topográficos directamente a través del software de visualización 3DEM (Horne, s. f.), sino que utiliza la plataforma web “Mars Trek” (NASA, 2015), desarrollada por la NASA, para acceder a los datos. Esta modificación permite que el alumnado acceda de forma más sencilla a la misma información, sin necesidad de instalar software adicional al depender sólo de tecnologías web, y por tanto, abriendo la posibilidad de explorar los datos desde cualquier dispositivo con acceso a internet.

- II. Se centra en el estudio y análisis de cráteres de impacto, obviando otras estructuras geológicas. Esta decisión está motivada por la propia temática de la actividad de investigación que realiza el alumnado, en la cual desempeña el rol de investigador de una misión a Marte para buscar indicios de vida pasada en cráteres de impacto. Sin embargo, los cráteres de impacto ofrecen un relieve lo suficientemente rico como para desarrollar el criterio de evaluación implicado en la actividad.
- III. Añade un componente de gamificación, al contextualizar la actividad de investigación dentro de un juego de rol en el que el alumnado participa en el diseño de una misión científica ficticia al planeta Marte.
- IV. Incorpora la realización de un informe escrito y de una presentación en formato audiovisual como productos evaluables, lo cual añade un componente creativo a la actividad, y la posibilidad de utilizar los dispositivos móviles como herramienta educativa.

3. Objetivos

Esta propuesta tiene los siguientes objetivos generales y específicos:

Objetivos generales:

1. Despertar el interés del alumnado por la geología y la topografía.
2. Favorecer que el alumnado descubra que Marte y la Tierra muestran muchas similitudes geológicas, así como que los planetas son dinámicos, y que las condiciones en la superficie de Marte, e.g., agua líquida, atmósfera más densa, fueron muy diferentes en el pasado.
3. Promover el interés del alumnado por la investigación y por el aprendizaje colaborativo y por descubrimiento.
4. Promover el empleo de herramientas TIC que enriquezcan y faciliten el aprendizaje de conceptos.

Objetivos específicos:

El alumnado debe de ser capaz de:

1. Interpretar correctamente el mapa topográfico del planeta Marte.
2. Realizar de forma precisa varias mediciones sobre el mapa topográfico de las dimensiones espaciales del cráter de impacto bajo estudio.

3. Obtener e interpretar correctamente perfiles de elevación realizados a partir del mapa topográfico.
4. Reconocer estructuras geológicas representadas en el mapa topográfico en fotografías satelitales de resolución media y alta.
5. Situar adecuadamente puntos de interés en el mapa a partir de coordenadas de latitud y longitud.
6. Reconocer restos de estructuras de origen fluvial, e.g., paleocauces, paleodeltas, en el mapa topográfico y en imágenes satelitales de alta resolución.
7. Comprender el principio de superposición y aplicarlo para calcular la edad relativa de cráteres de impacto.

4. Plan de intervención

En este apartado, describiré en detalle la propuesta de innovación presentada en este trabajo, su contextualización legal, curricular y de centro educativo, así como la secuenciación propuesta para el desarrollo de esta propuesta.

4.1 Marco legal

La presente propuesta de innovación educativa queda enmarcada dentro de: (i) la Ley Orgánica 8/2013 para la Mejora de la Calidad Educativa (LOMCE), (ii) el Real Decreto 1105/2014 del 26 de diciembre por el que se establece el Currículo básico de Educación Secundaria Obligatoria y Bachillerato, y (iii) el Decreto 83/2016, de 4 de julio de la Comunidad Autónoma de Canarias por el que se establece el Currículo de Educación Secundaria Obligatoria y Bachillerato en la Comunidad Autónoma de Canarias.

4.2 Contextualización de la innovación

La presente propuesta de innovación ha sido diseñada para alumnado de 1º de Bachillerato del centro educativo IES Tegueste. El IES Tegueste es un centro de enseñanza público ubicado en el municipio de Tegueste, en Tenerife. La oferta educativa del centro incluye a la educación secundaria obligatoria (ESO), al bachillerato, y también a diversos ciclos formativos de grado medio y superior (dentro del ámbito de la química analítica).

El centro dispone de amplios espacios al aire libre, canchas deportivas y zonas ajardinadas. En cuanto a las instalaciones informáticas, las cuales se usarán en esta propuesta de innovación, el centro dispone de tres aulas de informática con ordenadores y conexión a internet. Debido a las medidas sanitarias extraordinarias establecidas en el curso 2020/2021 a causa de la pandemia de COVID-19, las aulas de informática tienen un cupo máximo de 20 alumnas y alumnos, y en el resto de aulas se ha tratado de que los grupos no superen los 20 alumnos y alumnas.

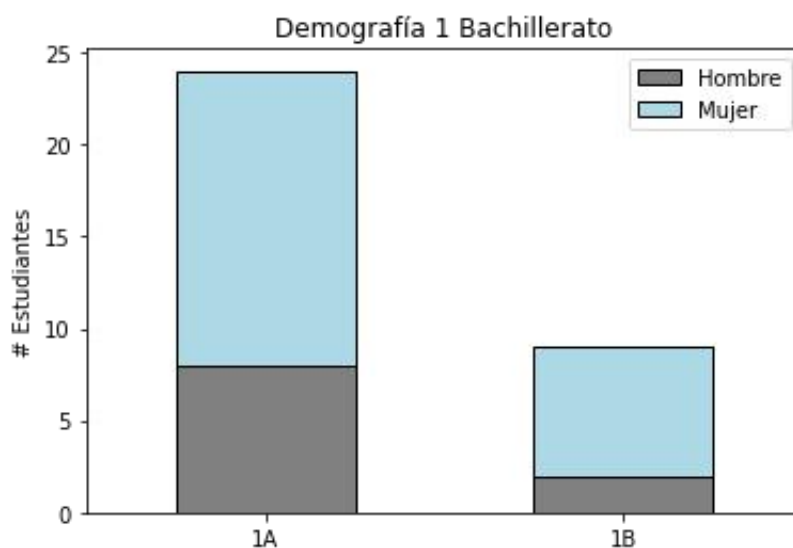


Figura 1. Demografía de la población de los dos grupos de 1º de Bachillerato que participaron en la actividad.

La presente propuesta de innovación se llevará a cabo en los dos grupos del itinerario de Ciencias de La Salud de 1º de Bachillerato. El grupo de 1º de Bachillerato A está formado por 23 alumnas y alumnos, mientras que el grupo de 1º de Bachillerato B está formado por 9 alumnos y alumnas (Figura 1) — la disparidad en el número de alumnas y alumnos entre grupos es debida a una reorganización de los grupos de 1º de Bachillerato para satisfacer las

medidas preventivas para la COVID-19. El alumnado de 1º de Bachillerato procede fundamentalmente del municipio de Tegueste (es el único centro de educación secundaria en el municipio). Además, la mayor parte del alumnado procede de familias estructuradas y con un nivel socioeconómico medio o medio-alto. En general, ambos grupos responden bien académicamente y el alumnado se muestra interesado en la propuesta de innovación. En este caso, no hay ningún alumno o alumna con necesidades específicas de aprendizaje.

Finalmente, debido a restricciones temporales y de secuenciación curricular, sólo se podrán emplear tres sesiones por grupo para poner en práctica la presente propuesta de innovación. Por este motivo, esta propuesta de innovación cubrirá un solo criterio de evaluación. Además, estas sesiones no serán consecutivas, ya que la organización de las mismas depende de la disponibilidad del aula de informática. Por tanto, se desarrollarán de manera intercalada con otras sesiones normales de clase, en las cuales el alumnado trabajará criterios de evaluación diferentes al tratado en esta propuesta.

4.3 Criterios de evaluación y competencias clave

La presente propuesta de innovación educativa ha sido desarrollada para la asignatura de Biología y Geología de 1º de Bachillerato. Específicamente, esta propuesta se contextualiza dentro del Criterio de Evaluación 9 del Bloque de Aprendizaje IX, Historia de la Tierra, mostrado en la siguiente tabla, y donde los contenidos y estándares relevantes para esta propuesta se muestran resaltados:

Criterio de evaluación 9. Bloque de Aprendizaje IX, Historia de la Tierra.
<i>“Deducir la existencia de estructuras geológicas y su relación con el relieve a partir de la utilización de mapas topográficos y cortes geológicos, aplicando criterios cronológicos para la datación relativa de las formaciones, así como describir los procesos de fosilización catalogando los principales fósiles guía con la finalidad de reconstruir la historia de la Tierra.”</i>

Contenidos
<p>1. Aplicación de los principios y procedimientos de la Estratigrafía.</p> <p>2. Interpretación y realización de cortes geológicos y perfiles topográficos aplicando los principios de superposición de estratos, superposición de sucesos y correlación.</p> <p>3. Identificación de las grandes divisiones del tiempo geológico y ubicación de los principales acontecimientos: orogenias y extinciones masivas.</p>
Estándares de aprendizaje evaluables
<p>132. Interpreta y realiza mapas topográficos y cortes geológicos sencillos.</p> <p>133. Interpreta cortes geológicos y determina la antigüedad de sus estratos, las discordancias y la historia geológica de la región.</p> <p>134. Categoriza los principales fósiles guía, valorando su importancia para el establecimiento de la historia geológica de la Tierra.</p>

Además, esta propuesta trabaja las siguientes competencias clave para el aprendizaje:

- **Competencia Matemática y Científico Tecnológica (CMCT):** esta es la principal competencia que el alumnado trabaja durante el desarrollo de esta propuesta. Concretamente, esta competencia se desarrolla a través de: (i) el análisis cuantitativo de datos topográficos así como de perfiles de elevación, lo cual incluye interpretación de gráficos numéricos, (ii) la toma de decisiones basada en observaciones, interpretación y análisis de datos, así como la integración de lo anterior para obtener conclusiones de forma razonada, y (iii) el manejo de conceptos científicos y tecnológicos para llevar a cabo con éxito la actividad.

- **Competencia Digital (CD):** esta competencia concierne fundamentalmente al correcto empleo de las TIC en el proceso de enseñanza-aprendizaje. En esta propuesta, la CD se desarrolla, por una parte, a través del uso de la plataforma web para el análisis y exploración de datos topográficos de Marte, y, por otra parte, a través de la elaboración de una presentación en formato de vídeo.
- **Aprender a aprender (AA):** esta competencia se desarrolla a través del propio proceso de aprendizaje por descubrimiento que promueve la presente propuesta. En este proceso de aprendizaje activo, el alumnado ha de conocer lo que sabe y lo que no sabe, así como conocer y saber ejecutar las técnicas necesarias para proseguir con el aprendizaje, e.g., organización temporal de la actividad. Además, la metodología de aprendizaje por descubrimiento necesariamente hace al alumnado partícipe activo de su propio aprendizaje, y, por tanto, entrena la percepción de autoeficacia y de confianza en sí mismo.
- **Sentido e Iniciativa del espíritu emprendedor (SIEE):** al igual que aprender a aprender, la presente propuesta fomenta el desarrollo del SIEE a través del método de aprendizaje por descubrimiento colaborativo. En este caso, el alumnado desarrolla la capacidad de resolución de problemas, así como la de saber presentar ideas al resto de miembros de su grupo de trabajo. El alumnado también debe actuar de manera creativa e innovadora, tanto durante la resolución del problema propuesto como durante la grabación y edición del vídeo de presentación.
- **Comunicación lingüística (CL):** en la presente propuesta el alumnado también desarrolla la CL. Concretamente, el alumnado ha de saber comunicar y entender conceptos descritos en lenguaje científico, así como desarrollar el ejercicio del rigor científico al comunicar ideas. Por otra parte, el alumnado tiene que comunicar conceptos de forma oral con sus compañeras y compañeros de trabajo, de forma escrita en el informe, y de forma audiovisual durante el desarrollo del vídeo de presentación de los resultados.

4.4 Diseño de la propuesta de innovación

En esta sección explicaré en detalle y justificaré el diseño de la actividad de enseñanza-aprendizaje desarrollada en esta propuesta de innovación.

4.4.1 Descripción de la actividad: La misión ExoLife2028.

La propuesta de innovación se ejecuta a través de una sola actividad dividida en tres sesiones. Esta actividad se plantea como un juego de rol, en el que el alumnado participa en la planificación de una futura misión (ficticia) de la ESA (European Space Agency) que tiene como objetivo principal la búsqueda de indicios de actividad biológica pasada en Marte: ExoLife2028.

La vida, tal y como la conocemos, requiere agua en estado líquido para desarrollarse. Aunque actualmente no hay agua en estado líquido en la superficie de Marte, sabemos que Marte contuvo agua en estado líquido hasta, aproximadamente, los primeros 1000 millones de años desde su formación (Villanueva et al., 2015). La superficie marciana está cubierta por cráteres de impacto, muchos de los cuales contuvieron lagos en el pasado. Por ello, la misión ExoLife2028 tendrá como destino un cráter de impacto para el cual tengamos evidencias observacionales de presencia de agua líquida en su interior. En este cráter, el rover de la misión realizará los experimentos oportunos para buscar indicios de vida pasada. Sin embargo, es necesario elegir un cráter con condiciones óptimas para el desarrollo de la misión, tanto desde el punto de vista científico (e.g., evidencias de agua líquida en el pasado) como desde el punto de vista técnico (e.g., topografía y situación favorable para el aterrizaje y mantenimiento del rover).

El alumnado tendrá como objetivo proponer y justificar la candidatura de una serie de cráteres de impacto en base a sus condiciones científicas y técnicas. Para ello, el alumnado trabajará de forma colaborativa en grupos, donde los alumnos o las alumnas ejecutarán el papel de científico o científica o el de ingeniera o ingeniero. Los alumnos o las alumnas que sean científicos o científicas se encargarán de garantizar que el cráter candidato reúne las condiciones óptimas para el desarrollo científico de la misión, mientras que las ingenieras o los ingenieros garantizarán que el cráter candidato muestra las características apropiadas

para el aterrizaje y funcionamiento posterior del rover. Las características de cada cráter se evaluarán a través de una serie de variables o parámetros predeterminados, que el alumnado medirá a través del uso del mapa topográfico proporcionado por la plataforma *Mars Trek* (NASA, 2015).

El alumnado elaborará dos productos evaluables: un informe escrito, donde se especificarán las características científicas y técnicas del cráter seleccionado (más detalles en la Sección 4.6 “Evaluación”), y una presentación en formato audiovisual, donde los integrantes del grupo presentarán y defenderán la candidatura del cráter propuesto. Una vez que los diferentes grupos de trabajo hayan propuesto sus cráteres candidatos, se proyectarán las presentaciones en formato audiovisual en clase y se realizará un debate para elegir el cráter finalista para la misión ExoLife2028.

4.4.2 Sobre la plataforma web Mars Trek

La plataforma web *Mars Trek* (NASA, 2015) constituye la principal herramienta utilizada por el alumnado para desarrollar la actividad de innovación. Mars Trek ha sido desarrollada por la NASA como una herramienta para visualizar diversos conjuntos de datos que se han ido recolectando a lo largo de varias misiones científicas al planeta Marte.

La plataforma presenta al usuario un mapa interactivo de Marte compuesto por un mosaico de imágenes a color real, así como diversas herramientas para manipular el mapa y realizar medidas sobre el mismo. Sobre esta capa base se puede añadir otras capas de datos, como los datos topográficos procedentes del instrumento MOLA (Mars Orbiter Laser Altimeter) dentro de la misión Mars Global Surveyor (Smith et al., 2001) o las imágenes de alta resolución procedentes del instrumento HiRISE (High Resolution Imaging Science Experiment) de la misión Mars Reconnaissance Orbiter (McEwen et al., 2007). Las capas de datos MOLA e HiRISE, además de la capa base de imágenes a color real, son las capas de datos utilizadas en esta actividad.

Como se ha comentado previamente, la plataforma *Mars Trek* permite la toma de diversas medidas sobre el mapa de una forma sencilla, para ello, la plataforma cuenta con un panel de herramientas de medición sobre el mapa (Figura 2B). Por ejemplo, el usuario puede

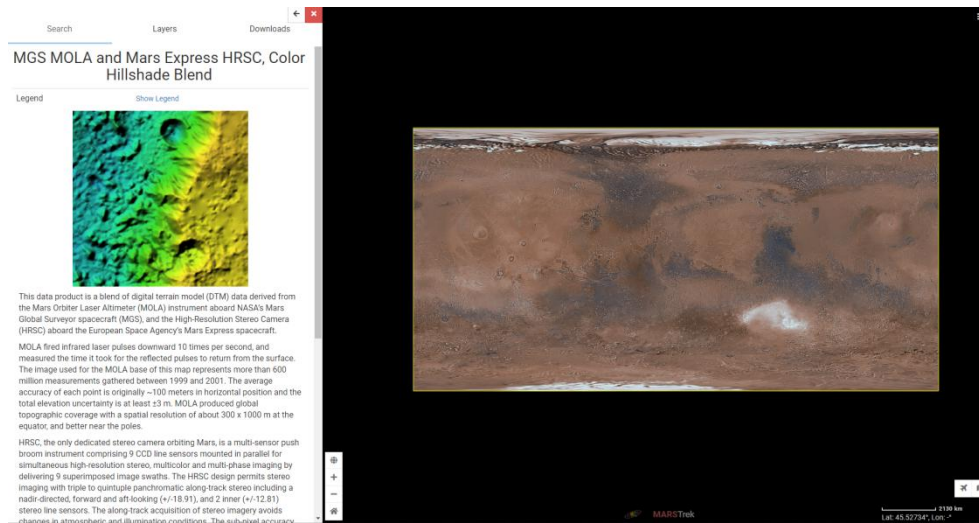
calcular distancias fácilmente sobre el mapa. Para ello, sólo tiene que seleccionar con el ratón una línea o polilínea sobre el mapa a través de la herramienta “Calculate Distance”. Entre las herramientas disponibles, también encontramos el generador de perfiles de elevación, mostrado en “Calculate Elevation Profile”. De forma similar a la calculadora de distancias, el usuario sólo tiene que seleccionar una línea o polilínea con el ratón a través de la herramienta para generar el perfil de elevación. La Figura 3A muestra un ejemplo de perfil de elevación para un transecto del cráter Jezero. Ambas herramientas, la herramienta de cálculo de distancia y la herramienta de cálculo de perfil de elevación, serán utilizadas por el alumnado durante el desarrollo de la actividad incluida en esta propuesta de innovación.

Finalmente, como se ha comentado previamente, la aplicación *Mars Trek* también incluye una capa de imágenes de alta resolución procedentes de la cámara HiRISE. Esta capa de imágenes de alta resolución permite la observación de estructuras sobre el terreno detalladamente. Específicamente, las imágenes HiRISE permiten observar claramente restos de paleocauces y paleodeltas sobre la superficie marciana, entre otras estructuras (Figura 3B). El alumnado utilizará la capa de datos HiRISE cuando sea posible para investigar restos de estructuras fluviales antiguas en los cráteres candidatos.

4.4.3 Variables y sistema de puntuación

El alumnado evaluará la idoneidad de un cráter candidato a través de la medición de una serie de variables y de un sistema de puntuación en base a los valores de las variables. Las variables están divididas en variables de ámbito científico, i.e., miden propiedades relevantes para el éxito científico de la misión, y variables de ámbito técnico, i.e., miden propiedades relevantes para el éxito técnico de la misión. En cada grupo de trabajo, el alumnado que tenga asignado el rol de científico o científica se asegurará de que las variables científicas se miden correctamente y, además, tratará de maximizar su valor. El alumnado con el rol de ingeniera o ingeniero hará lo propio con las variables de carácter técnico.

(A)



(B)

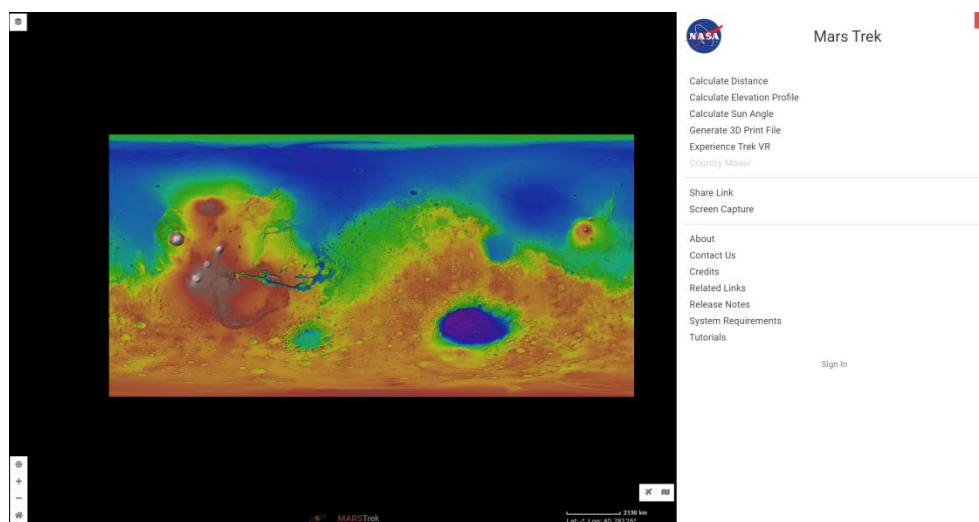
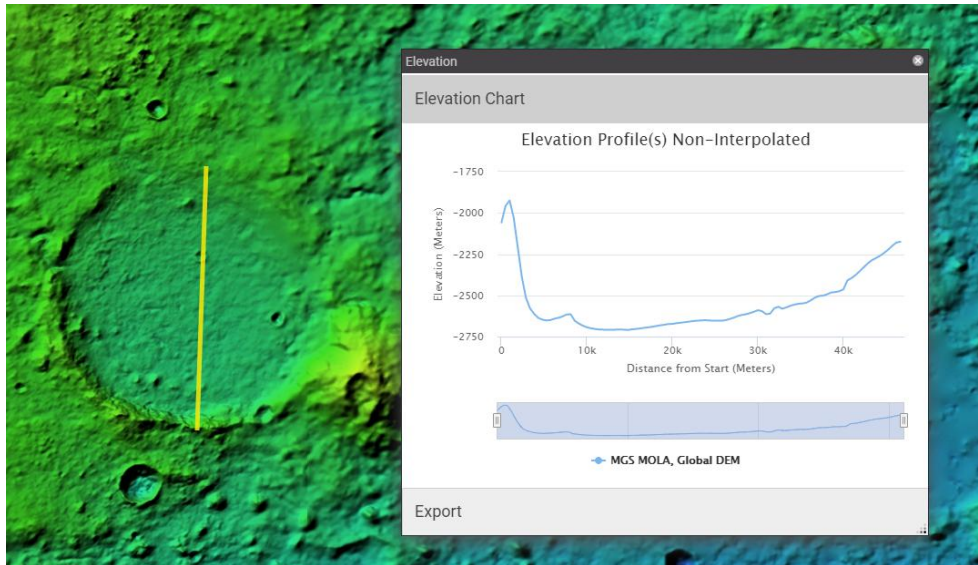


Figura 2. Capturas de pantalla de la plataforma web Mars Trek. (A) Captura de la capa mosaico de imágenes a color real, en proyección Mercator, de la superficie de Marte (salvo los polos). A la izquierda se observa el panel para seleccionar la capa de datos topográficos MOLA. (B) Captura de la capa de datos topográficos MOLA aplicada a toda la superficie de Marte (salvo los polos). A la derecha se puede observar el panel de selección de herramientas disponibles para el mapa, entre ellas, la calculadora de distancias y el generador de perfil de elevaciones.

(A)



(B)

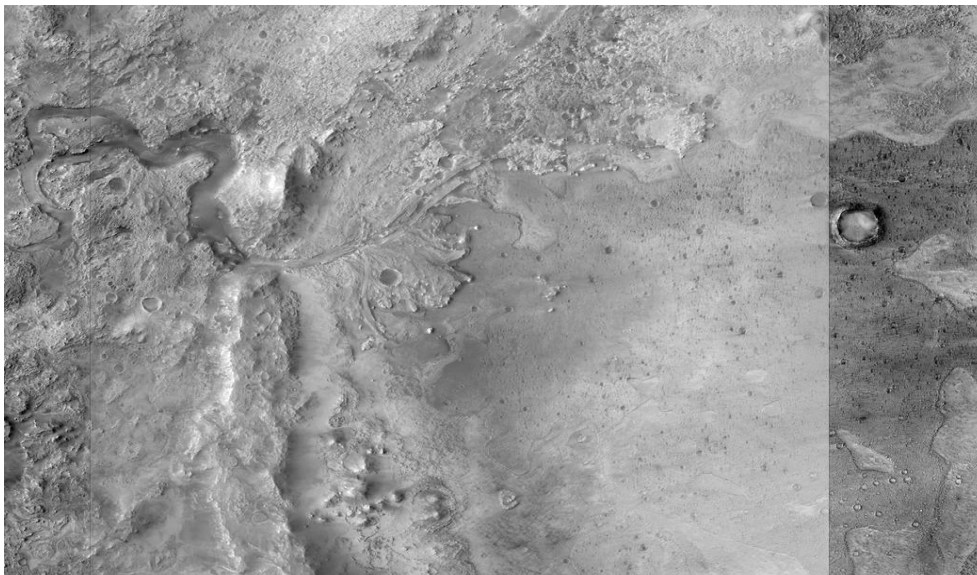


Figura 3. Ejemplo de visualización del cráter Jezero, situado en las coordenadas 18.38, 77.58. (A) Ejemplo de cálculo de perfil de elevación sobre un transecto del cráter Jezero. **(B)** Imagen de alta resolución de una región del cráter Jezero procedente de la cámara HiRISE. Se puede apreciar fácilmente restos de estructuras fluviales: un antiguo canal de entrada al lago que contenía el cráter Jezero y los restos de un delta situado en la zona de entrada del canal.

Las variables propuestas, tanto las de carácter científico como las de carácter técnico, han sido elegidas considerando un balance entre dos objetivos: i) conseguir que el alumnado cubra los objetivos didácticos establecidos en esta propuesta de innovación y ii) mantener, en la medida de lo posible, el carácter realista del juego de rol, tratando que las variables se asemejen a las variables consideradas durante la elección de puntos candidatos de aterrizaje en misiones reales. Las variables propuestas son las siguientes (más información disponible en la guía de prácticas adjunta en Anexo I):

Variables de ámbito científico	Canales
	<p><u>Descripción</u>: presencia o ausencia de antiguas estructuras fluviales (canales y/o deltas).</p> <p><u>Unidades</u>: Sí/No</p> <p><u>Objetivo didáctico</u>: observar e interpretar imágenes de alta resolución para encontrar estructuras fluviales.</p>
	Diámetro
	<p><u>Descripción</u>: diámetro máximo del cráter</p> <p><u>Unidades</u>: Km</p> <p><u>Objetivo didáctico</u>: saber realizar medidas sobre el terreno utilizando un mapa topográfico</p>
	Profundidad
	<p><u>Descripción</u>: máxima distancia entre el borde y un punto del interior del cráter medida perpendicularmente a la base del cráter</p>

	<p><u>Unidades</u>: Km</p> <p><u>Objetivo didáctico</u>: saber interpretar correctamente perfiles de elevación y realizar medidas correctamente con estos</p>
	Cráteres interiores
	<p><u>Descripción</u>: número de cráteres interiores superpuestos</p> <p><u>Unidades</u>: entero no negativo</p> <p><u>Objetivo didáctico</u>: poner en práctica el principio de datación relativa por superposición de cráteres de impacto más recientes</p>
Variables de ámbito técnico	Latitud absoluta
	<p><u>Descripción</u>: latitud sur o norte a la que se encuentra el punto central del cráter</p> <p><u>Unidades</u>: grados</p> <p><u>Objetivo didáctico</u>: saber utilizar el sistema de coordenadas de un mapa</p>
	Relieve
	<p><u>Descripción</u>: máxima distancia entre picos o montículos interiores</p> <p><u>Unidades</u>: m</p> <p><u>Objetivo didáctico</u>: saber utilizar un mapa topográfico, saber utilizar un perfil de elevación de terreno, saber realizar medidas correctamente sobre ambos</p>
	Altitud
	<p><u>Descripción</u>: altitud del cráter respecto a la altitud media de Marte medida desde el</p>

	<p>punto más bajo del cráter</p> <p><u>Unidades:</u> m</p> <p><u>Objetivo didáctico:</u> saber interpretar un mapa topográfico correctamente, saber realizar medidas sobre un mapa topográfico</p>
--	--

Para calcular la puntuación total del cráter simplemente se sumarán los puntos obtenidos por cada variable. La siguiente tabla muestra los puntos asignados a los diferentes rangos de valor de las variables:

	Puntos	0	5	10	15	20
Científicas	Canales / Delta	No	-	-	-	Sí
	Diámetro (Km)	< 30	[30, 70)	[70, 120)	[120, 200]	> 200
	Profundidad (m)	< 50	[50, 100)	[100, 500)	[500, 1000]	> 1000
	Edad (# craters)	0	[1, 5)	[5, 10)	[10, 15]	> 15
Técnicas	Latitud abs. (°)	> 35	(30, 35]	(20, 30]	(10, 20]	< 10
	Relieve (m)	< 100	[100, 500)	[500, 1000)	[1000, 5000]	> 5000
	Altitud (m)	> 2000	(1000, 2000]	(0, 1000]	(-1000, 0)	< -2000

4.5 Secuenciación de la actividad

En condiciones normales, la presente propuesta de innovación se desarrollaría en el tramo final del tercer trimestre del curso académico 2020 - 2021, dentro del bloque temático dedicado a contenidos geológicos. Sin embargo, dada la limitación temporal que impone el periodo de prácticas docentes, el tutor del centro propone desarrollar la actividad al comienzo del tercer trimestre. Por tanto, adelantando el criterio de evaluación cubierto por la actividad del final al comienzo del trimestre.

Debido a las restricciones temporales, la intervención de innovación se desarrollará en tres sesiones de 55', las cuales serán complementadas con trabajo grupal fuera del horario de clase. La duración total de la intervención de innovación será de entre dos y tres semanas. A continuación se presenta cada una de la sesiones más detalladamente:

Sesión 1: La misión ExoLife2028
<p>Duración: 55 minutos</p> <p>Agrupamiento: Gran grupo</p> <p>Lugar: Aula de clase</p> <p>Metodología: Expositiva, debate en gran grupo.</p>
<p>Objetivos:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Explicar al alumnado los objetivos de la actividad a desarrollar, así como el desarrollo de la misma y los productos evaluables que tendrán que elaborar. 2. Introducir los conceptos teóricos clave para el desarrollo de la actividad. 3. Recordar al alumnado algunos conceptos básicos sobre el planeta Marte.
<p>Desarrollo:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. La sesión comienza con la proyección de un vídeo de unos 3 minutos donde se muestra una animación de la secuencia de aterrizaje del rover Perseverance de la misión Mars2020 de la NASA (NASA Jet Propulsion Laboratory, s. f.). El vídeo no está narrado ni contiene información en forma de texto. Con la proyección de este vídeo se busca despertar la intriga y la curiosidad en el alumnado.

2. La sesión continúa con un pequeño debate sobre el vídeo que se acaba de proyectar. Se pregunta al alumnado qué creen que ha pasado y en qué planeta nos encontramos. A continuación se lanzan preguntas al alumnado para sondear qué sabe y qué no sabe sobre el planeta Marte. En base al sondeo anterior, el profesorado realiza una pequeña presentación sobre el planeta Marte, enfatizando las semejanzas y diferencias entre Marte y la Tierra.
3. A continuación se introduce al alumnado la actividad que van a desarrollar. Se presenta la misión ficticia ExoLife2028, donde se buscarán indicios de vida antigua en cráteres marcianos, y se presenta al alumnado el papel que tendrán en la misión: búsqueda de cráteres candidatos para ser lugar de aterrizaje y exploración por parte del rover de la misión.
4. Seguidamente, el profesorado contextualiza la actividad dentro del currículo de Biología y Geología, y explica al alumnado el criterio de evaluación que se va a trabajar durante esta actividad. Además, el profesorado introduce la principal herramienta que el alumnado usará durante la actividad, Mars Trek, una mapa topográfico interactivo de Marte en formato web desarrollado por la NASA (NASA, 2015). El profesorado puede realizar una pequeña demostración en clase de cómo funciona la plataforma web, por ejemplo, puede mostrar las imágenes correspondientes al cráter Jezero, punto de aterrizaje de la misión Mars2020 con la que se ha comenzado la sesión a través del vídeo.
5. En este punto, el profesorado también introduce los términos de carácter geológico más relevantes para la actividad del criterio de evaluación que se va a trabajar. Específicamente, el profesorado explica el concepto de mapa topográfico, realiza un repaso breve sobre la formación de un cráter de impacto.
6. Finalmente, el profesorado cierra la sesión animando al alumnado a explorar la guía de prácticas que ya se encuentra disponible para su descarga, y donde se explica detalladamente las tareas que tendrán que realizar la próxima sesión en el aula de informática.

Sesión 2: En búsqueda de cráteres candidatos

Duración: 55 minutos

Agrupamiento: Grupos de 4 o 5 personas

Lugar: Aula de informática

Metodología: Investigación cooperativa

Objetivos generales:

1. Conseguir que el alumnado sepa interpretar correctamente un mapa topográfico y un perfil de elevaciones de terreno. Así como que sepa realizar mediciones sobre el mapa topográfico y el perfil de elevaciones de forma precisa.
2. Fomentar el uso de las TIC en el proceso de enseñanza-aprendizaje.
3. Fomentar el espíritu emprendedor e investigador del alumnado, así como el trabajo cooperativo entre iguales.

Objetivos específicos:

1. Realizar mediciones sobre el mapa topográfico de las variables indicadas en la guía de prácticas para cada cráter candidato elegido por el grupo de investigación.
2. Interpretar los resultados obtenidos para las variables, con el apoyo de la tabla de valores de la guía de prácticas, para asignar una puntuación final recogiendo la idoneidad de cada cráter candidato para el desarrollo de la misión ExoLife2028.
3. Debatir con los demás compañeros y compañeras del grupo sobre las características de los cráteres candidatos seleccionados y elegir un cráter candidato finalista para proponer al resto de la clase.

Desarrollo:

1. La actividad comienza en el aula de informática, donde el alumnado se distribuye en los diferentes grupos de investigación. Para agilizar el desarrollo de esta actividad, los grupos de investigación han sido formados previamente (por el propio alumnado) en horario de clase de Biología y Geología.
2. El profesor o la profesora introduce la sesión práctica con una demostración en vivo de la plataforma web que el alumnado va a utilizar, la plataforma Mars Trek desarrollada por la NASA (NASA, 2015). Particularmente, demuestra cómo realizar

mediciones sobre el terreno, así como cómo obtener perfiles de elevación. Esta introducción se puede realizar mientras se inicializan los ordenadores. Idealmente, el alumnado se habrá leído previamente la guía de prácticas, donde se detalla el procedimiento a seguir en la actividad. No obstante, el profesor o la profesora repasa brevemente las principales variables que el alumnado ha de tener en cuenta para elegir a un cráter candidato, así como los métodos para medir esas variables en el mapa topográfico.

3. A continuación, el alumnado trabaja en grupos apoyándose en la guía de prácticas para identificar cráteres candidatos para el desarrollo de la misión ExoLife2028. El profesor o la profesora acompaña al alumnado durante la sesión, resolviendo las dudas que puedan ir surgiendo durante la actividad.
4. Finalmente, el profesor o la profesora cierra la sesión recordando a los grupos que tienen que realizar y subir al aula virtual los productos evaluables de esta actividad: un informe grupal y un video corto donde se presentarán los resultados obtenidos.

Sesión 3: Y la misión ExoLife2028 aterrizará en...

Duración: 55 minutos

Agrupamiento: Gran grupo

Lugar: Aula de clase

Metodología: Proyección audiovisual, debate en gran grupo

Objetivos:

1. Proyectar los vídeos generados por cada grupo de trabajo.
2. Debatir en el aula sobre la idoneidad de los diferentes cráteres candidatos presentados por los grupos.

Desarrollo:

1. El profesor o la profesora introduce la sesión recordando el objetivo principal de la sesión de hoy: analizar las candidaturas presentadas por los compañeros y

compañeras para, entre todas y todos, elegir el cráter al que irá la misión ExoLife2028.

2. A continuación se proyectan los vídeos realizados por los grupos de trabajo. Tras cada vídeo se abre una ronda de preguntas y comentarios en general. Los autores y las autoras del vídeo pueden añadir la información que consideren oportuna para defender la candidatura, siempre y cuando no se extienda demasiado para que de tiempo de proyectar todos los vídeos.
3. Cuando todos los vídeos se hayan proyectado, el profesor o la profesora abre un debate para decidir, entre todas y todos, qué cráter será el destino de la misión. El profesor o la profesora conduce el debate para asegurar que las decisiones se basan en argumentos razonados.

4.6 Evaluación

En esta sección, describiré los métodos de evaluación de los productos evaluables de esta propuesta de innovación. Esta propuesta de innovación contempla dos productos evaluables: un informe escrito y una presentación de los resultados en formato audiovisual, ambos elaborados de manera grupal (véase ejemplo de producto evaluable en Anexo I). La calificación del informe supondrá un 40% de la nota final, mientras que la de la exposición supondrá un 60%. La evaluación del informe se centrará en tres atributos: i) Objetivos y contenido, ii) Redacción -- poniendo énfasis en el uso del lenguaje científico y riguroso, y iii) Presentación de los contenidos. En cuanto al producto audiovisual, la evaluación se basará en los atributos: i) Contenido y ii) Formato -- el cual incluye la capacidad de elaboración de contenido audiovisual. Específicamente, la evaluación se basará en la siguiente rúbrica, en la cual se especifica los atributos evaluados en cada producto evaluable, así como la puntuación (sobre 100) para cada categoría de resultado:

	Atributos	Excelente	Cumplió bien	Cumplió	No cumplió
Informe (40%)	Objetivos y contenido (20%)	Cumple con todos los objetivos y domina los contenidos. (20)	Cumple con los objetivos. Muestra algunas lagunas o imprecisiones en los contenidos. (16)	Cumple con la mayoría de los objetivos. Muestra algunas lagunas o imprecisiones en los contenidos. (10)	No cumple con los objetivos. Muestra lagunas e imprecisiones en los contenidos. (0)
	Redacción (15%)	La redacción es original, clara y coherente. Domina el vocabulario científico relevante. (15)	La redacción es clara y coherente en su mayor parte. Utiliza vocabulario científico de forma apropiada. Incluye algunos fragmentos copiados del ejemplo proporcionado. (10)	El nivel de claridad y coherencia es aceptable, pero comete algunos fallos e imprecisiones. No hace un uso extendido del vocabulario científico. Incluye fragmentos copiados del ejemplo proporcionado. (5)	La redacción no es clara ni coherente. No utiliza vocabulario científico, o lo utiliza de manera inadecuada. Incluye muchos fragmentos copiados del ejemplo proporcionado. (0)
	Presentación (5%)	Presenta todas las secciones. El formato de cada sección es coherente a lo largo del informe. Las imágenes están correctamente maquetadas. (5)	Presenta todas las secciones. Incluye algunas incoherencias de formato o la maquetación de algunas imágenes es incorrecta. (3)	La presentación es suficientemente clara. No incluye algunas de las secciones o imágenes. El formato presenta algunas incoherencias. (2)	La presentación no es clara ni el formato coherente. Faltan varias secciones o imágenes. (0)
Exposición (60%)	Contenido (40%)	Expone las conclusiones de forma clara y concisa. Domina los contenidos. (40)	Expone las conclusiones de forma clara, pero muestra algunas lagunas de conocimiento. (30)	Realiza una labor suficiente, pero muestra bastantes lagunas de contenido durante la exposición. (10)	No realiza la exposición de las conclusiones de forma satisfactoria. No domina los contenidos. (0)
	Formato (20%)	Domina el uso de herramientas de edición de vídeo. Presenta los resultados de forma muy creativa. (20)	Realiza una buena edición del vídeo. Incluye elementos adicionales de edición, como transiciones entre secciones. (15)	Los resultados están presentados correctamente. No incluye elementos adicionales de edición. Se limita a presentar los resultados. (10)	El vídeo está mal editado. Es difícil comprender el contenido. No incluye elementos de edición de vídeo. (0)
	Subtotal				

5. Plan de seguimiento

Este trabajo propone un método innovador de enseñanza-aprendizaje de unos contenidos geológicos determinados. Para evaluar el efecto que este método innovador tiene sobre el aprendizaje del alumnado, sería necesario, por una parte, establecer un control negativo, y por otra, desarrollar un método de evaluación del aprendizaje independiente del método de enseñanza.

El control negativo consistiría en el desarrollo de una situación de aprendizaje que abarcara los mismos contenidos geológicos que la actual propuesta de innovación, pero aplicando un método de enseñanza-aprendizaje tradicional, en el que los contenidos se trataran a través de estructuras geológicas del planeta Tierra y mediante un método de enseñanza-aprendizaje expositivo. Esta situación de aprendizaje del control negativo se desarrollaría en un grupo de alumnado de 1º de Bachillerato de características similares al grupo elegido para desarrollar la propuesta de innovación.

Para la comparación de los resultados de aprendizaje obtenidos por ambas estrategias se podría desarrollar una prueba objetiva tipo test para minimizar los efectos de otros posibles factores. Además, se podría desarrollar otro test subjetivo de evaluación de la práctica docente por parte del alumnado como valoración de la experiencia de enseñanza-aprendizaje.

Debido a las circunstancias en las cuales se ha puesto en práctica esta propuesta de innovación, decidí no realizar un control negativo como el sugerido anteriormente. Esta decisión está fundamentada en dos limitaciones: una limitación temporal y otra de muestra. Como se ha indicado anteriormente, sólo fue posible llevar a cabo tres sesiones de 55 minutos con el alumnado, de las cuales sólo una se desarrolló en el aula de informática. Además, las sesiones de la actividad se desarrollaron fuera del orden establecido por el currículo oficial, y de manera no consecutiva, debido a la limitación temporal impuesta por el periodo de prácticas en el IES Tegueste. Por otra parte, la diferencia de muestra entre grupos de 1º de Bachillerato A y B era muy grande. Específicamente, 1º A estaba constituido por 23 alumnos y alumnas, mientras que 1º B por 9. No obstante, sí que se dio la

oportunidad al alumnado de evaluar la experiencia de enseñanza-aprendizaje a través de un cuestionario anónimo de evaluación, incluido, junto con las respuestas, en el Anexo II.

6. Resultados y propuesta de mejora

A continuación se detallan los resultados de la presente propuesta de innovación. Como se ha indicado en la Sección 4.2, la propuesta de innovación se llevó a cabo en dos grupos de 1º de Bachillerato del IES Tegueste. En base a la experiencia obtenida durante la realización de la actividad, se proponen algunos puntos para mejorar la propuesta de innovación.

6.1 Resultados

La respuesta general del alumnado fue muy buena, mostrándose participativo e interesado en la actividad. Además, todos los grupos elaboraron ambos productos evaluables — informe y presentación en formato audiovisual — de manera satisfactoria. Tras aplicar la rúbrica propuesta en la Sección 4.6, la calificación media de todos los grupos de trabajo evaluados fue de 9.275 sobre 10. Es difícil hacer una comparación estadística entre los dos cursos de bachillerato que participaron en esta propuesta de innovación, debido al tamaño tan pequeño de la muestra y a la gran diferencia de alumnos y alumnas entre ambos cursos (23 en 1º A frente a 9 en 1º B). Observamos que la calificación media en ambos cursos fue similar, con un 9.322 sobre 10 en 1º A y un 9.156 sobre 10 en 1º B, aunque un grupo en 1º A obtuvo la calificación más baja de ambos cursos, con 7.5 sobre 10, y un grupo, también en 1º A, obtuvo la calificación más alta, de 10 sobre 10 (Figura 4).

El alumnado ha valorado positivamente la actividad realizada, como demuestra la encuesta anónima de evaluación de la actividad realizada por el alumnado y disponible en el Anexo II. Particularmente, el alumnado que participó en la encuesta destaca la temática de la actividad, así como también la oportunidad que se les ha dado para realizar un proyecto de investigación.

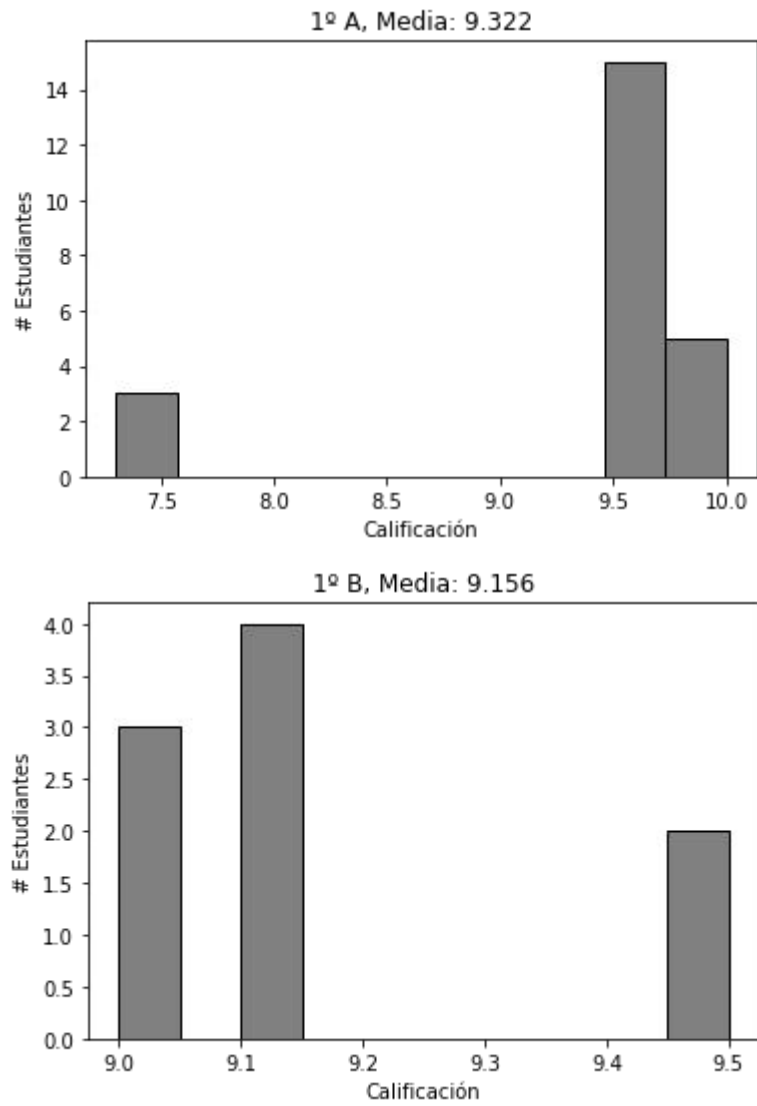


Figura 4. Distribución de calificaciones totales de los grupos de trabajos en los cursos 1º de Bachillerato A y B. Las calificaciones fueron obtenidas siguiendo la rúbrica presentada en la Sección 4.6.

Finalmente, aunque no sea posible mostrar las presentaciones audiovisuales realizadas por el alumnado, he de destacar la calidad y la creatividad depositada en todas ellas, habiendo superado con creces mis expectativas. En general, la calidad y el esfuerzo puesto en las presentaciones audiovisuales fue superior al del otro producto evaluable, los informes grupales.

6.2 Propuesta de mejora

Hay varios aspectos que se podrían mejorar en esta propuesta de innovación, en base a la experiencia obtenida tras la implementación y los resultados de la encuesta anónima de evaluación de la actividad que realizó el alumnado. A continuación, enumero algunos aspectos mejorables:

- I. Las condiciones en las que se desarrolló la actividad no fueron las idóneas. En mi opinión, esta actividad hubiera requerido, al menos, una sesión más de aula de informática para poder llevarla a cabo apropiadamente. Lamentablemente esto no fue posible debido a la alta ocupación que presentaban las aulas de informática debido al aforo reducido impuesto por la normativa de prevención de Covid-19.
- II. Aunque el trabajo grupal de investigación ha demostrado ser un éxito, considero que es necesario incluir un producto evaluable individual, con el fin de evitar situaciones en las que la implicación en el trabajo de los y las integrantes del grupo sea desigual. Por ejemplo, se podría realizar una primera búsqueda individual de cráteres candidatos, con el correspondiente informe individual de resultados, seguida de una puesta en común grupal — para lo cual sería necesario una sesión más de aula de informática, como se indica en el punto anterior.
- III. En esta propuesta, nos hemos limitado a un solo criterio de evaluación debido a la restricción temporal. Debido a esta limitación, la actividad propuesta se centra en un solo tipo de estructura: los cráteres de impacto. Sin embargo, sería interesante ampliar la actividad e incluir otros procesos geológicos del planeta Marte. La geología de Marte ofrece muchas oportunidades para comparar procesos geológicos entre el planeta Marte y la Tierra. Por ejemplo, se podría diseñar una actividad

donde se comparen diversos tipos de procesos o estructuras geológicas, como fallas, edificios volcánicos y desprendimientos de ladera en ambos planetas.

- IV. En base a las sugerencias realizadas por el alumnado, la duración máxima de la presentación en formato audiovisual podría aumentarse. Por ejemplo, la duración máxima podría ampliarse de los 3 minutos, duración máxima de los vídeos en esta propuesta, a los 5 minutos. De esta manera, el alumnado vería su creatividad menos limitada en este producto evaluable, el cual fue, en general, muy bien recibido por el alumnado.

7. Conclusiones

En este trabajo he desarrollado y llevado a la práctica una propuesta de innovación para la enseñanza de un criterio de evaluación de contenido geológico dentro del currículo de Biología y Geología de 1º de Bachillerato. La propuesta de innovación se basa en la enseñanza-aprendizaje de contenido geológico utilizando la geología del planeta Marte en lugar de la del planeta Tierra. Además, esta propuesta incluye el uso de las TIC a través de la utilización de un mapa topográfico interactivo en formato plataforma web, se basa en un método de enseñanza-aprendizaje por descubrimiento a través de investigación guiada, y hace uso de la gamificación, contextualizando la actividad de enseñanza-aprendizaje dentro de un juego de rol: la misión ficticia ExoLife2028.

La respuesta del alumnado a la actividad ha sido muy buena, como demuestran tanto las calificaciones obtenidas como la encuesta de evaluación de la actividad realizada. Además, es necesario contextualizar esta buena respuesta dentro de la situación extraordinaria impuesta por la pandemia de COVID-19, la cual ha ocasionado retrasos en el programa de Biología y Geología de 1º de Bachillerato del curso 2020/2021, y la limitación de realizar esta propuesta de innovación con una sola actividad de tres sesiones.

En base a los resultados obtenidos, esta propuesta de innovación ha demostrado que la enseñanza de parte de los contenidos geológicos puede realizarse satisfactoriamente utilizando el planeta Marte como escenario. Estudiar contenido geológico en otro planeta, como Marte, incrementa el interés del alumnado por la geología, como muestran las

respuestas al cuestionario de evaluación de la actividad. Este interés por aprender contenido geológico también se ha visto incrementado por el uso de metodologías activas de enseñanza-aprendizaje, como queda también reflejado en el cuestionario de evaluación de la actividad.

Concluyendo, la enseñanza de contenido geológico a través de la geología del planeta Marte ofrece un gran potencial para aumentar el interés del alumnado por la Geología, más aún cuando se combina con metodologías activas de enseñanza-aprendizaje.

8. Referencias bibliográficas

Andrews-Hanna, J. C. (2012). The formation of Valles Marineris: 1. Tectonic architecture and the relative roles of extension and subsidence. *Journal of Geophysical Research: Planets*, 117(E3). <https://doi.org/10.1029/2011JE003953>

Carr, M. H. (2021). *Mars | Facts, Surface, Temperature, & Atmosphere*. Encyclopedia Britannica. <https://www.britannica.com/place/Mars-planet>

Chan, M., & Kahmann-Robinson, J. (2014). Mars for Earthlings: An analog approach to Mars in undergraduate education. *Astrobiology*, 14(1), 42-49. <https://doi.org/10.1089/ast.2013.1037>

Decreto 83/2016, de 4 de Julio de la Comunidad Autónoma de Canarias por el que se establece el Currículo de Educación Secundaria Obligatoria y Bachillerato en la Comunidad Autónoma de Canarias. Boletín oficial de Canarias, 136, de 15 de Julio. Recuperado de <http://www.gobiernodecanarias.org/boc/2016/136/001.html>.

De Paor, D., Coba, F., & Burgin, S. (2016). A Google Earth Grand Tour of the Terrestrial Planets. *Journal of Geoscience Education*, 64(4), 292-302. <https://doi.org/10.5408/15-116.1>

Guarro Pallás, A. (2002). *Currículum y democracia: Por un cambio de la cultura escolar*.

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=54604>

Horne, R. (s. f.). *3DEM Visualization Software | VisualizationSoftware.com*. Recuperado 15 de agosto de 2021, de <http://www.visualizationsoftware.com/3dem/>

Ley Orgánica 8/2013, de 9 de Diciembre, para la Mejora de la Calidad Educativa. Boletín oficial del Estado, 295, de 10 de Diciembre, 97858-97921. Recuperado de <https://www.boe.es/buscar/pdf/2013/BOE-A-2013-12886-consolidado.pdf>.

McEwen, A. S., Eliason, E. M., Bergstrom, J. W., Bridges, N. T., Hansen, C. J., Alan, D. W., Grant, J. A., Gulick, V. C., Herkenhoff, K. E., Keszthelyi, L. P., Kirk, R. L., Mellon, M. T., Squyres, S. W., Thomas, N., & Weitz, C. M. (2007). Mars reconnaissance orbiter's high resolution imaging science experiment (HiRISE). En *Journal of Geophysical Research E: Planets* (Vol. 112, Número 5). <https://doi.org/10.1029/2005JE002605>

Mouginis-Mark, P. J., Crown, D. A., Zimbelman, J. R., & Williams, D. A. (2021). 3—The Tharsis Province. En J. R. Zimbelman, D. A. Crown, P. J. Mouginis-Mark, & T. K. P. Gregg (Eds.), *The Volcanoes of Mars* (pp. 36-68). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822876-0.00013-8>

NASA. (2015). *Mars Trek*. <https://trek.nasa.gov/mars>

NASA. (2021). *NASA's InSight Mars Lander*. NASA's InSight Mars Lander. <https://mars.nasa.gov/insight>

NASA Jet Propulsion Laboratory. (s. f.). *NASA's Mars 2020 Perseverance Rover Landing Animations*. Recuperado 28 de julio de 2021, de <https://www.youtube.com/watch?v=rzmd7RouGrM>

Nazari-Sharabian, M., Aghababaei, M., Karakouzian, M., & Karami, M. (2020). Water on Mars—A Literature Review. *Galaxies*, 8(2), 40. <https://doi.org/10.3390/galaxies8020040>

- Pardo-Igúzquiza, E. (2019). Aprendiendo geología mediante la interacción con los datos topográficos de Mars Global Surveyor (NASA) a través del programa 3DEM. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 27(2), 163-163.
- Pedrinaci, E. (1992). Catastrofismo versus actualismo. Implicaciones didácticas. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 216-222.
- Pedrinaci, E. (1996). Sobre la persistencia o no de las ideas del alumnado en geología. *Alambique : didáctica de las ciencias experimentales*.
<https://redined.educacion.gob.es/xmlui/handle/11162/25350>
- Pedrinaci, E. (2011). La Geología en la Educación Secundaria: Situación Actual y Perspectivas. *Macla: revista de la Sociedad Española de Mineralogía*, 14, 32-37.
- Pereira, M. del P. M., & Carballal, A. N. (2021). La gamificación en el aula de educación secundaria: Análisis y orientación didáctica. *Trances: Transmisión del conocimiento educativo y de la salud*, 13(1 (ENE-FEB)), 15-37.
- Real Decreto 1105/2014 del 26 de diciembre por el que se establece el Currículo básico de Educación Secundaria Obligatoria y Bachillerato. Boletín oficial del Estado, 3, de 3 de Enero, 169-546. Recuperado de
<https://www.boe.es/boe/dias/2015/01/03/pdfs/BOEA-2015-37.pdf>.
- Smith, D. E., Zuber, M. T., Frey, H. V., Garvin, J. B., Head, J. W., Muhleman, D. O., Pettengill, G. H., Phillips, R. J., Solomon, S. C., Zwally, H. J., Banerdt, W. B., Duxbury, T. C., Golombek, M. P., Lemoine, F. G., Neumann, G. A., Rowlands, D. D., Aharonson, O., Ford, P. G., Ivanov, A. B., ... Sun, X. (2001). Mars Orbiter Laser Altimeter: Experiment summary after the first year of global mapping of Mars. *Journal of Geophysical Research: Planets*, 106(E10), 23689-23722. <https://doi.org/10.1029/2000JE001364>
- SpaceX. (2021). *Mars & Beyond*. SpaceX. <https://www.spacex.com/human->

spaceflight/mars/

Stähler, S. C., Khan, A., Banerdt, W. B., Lognonné, P., Giardini, D., Ceylan, S., Drilleau, M., Duran, A. C., Garcia, R. F., Huang, Q., Kim, D., Lekic, V., Samuel, H., Schimmel, M., Schmerr, N., Sollberger, D., Stutzmann, É., Xu, Z., Antonangeli, D., ... Smrekar, S. E. (2021). Seismic detection of the martian core. *Science*, 373(6553), 443-448. <https://doi.org/10.1126/science.abi7730>

STIM Project. (s. f.). Recuperado 15 de agosto de 2021, de <https://insight.oca.eu/fr/stim-resources>

The Planetary Society. (2021). *Every Mission to Mars, Ever*. The Planetary Society. <https://www.planetary.org/space-missions/every-mars-mission>

Villanueva, G. L., Mumma, M. J., Novak, R. E., Käufel, H. U., Hartogh, P., Encrenaz, T., Tokunaga, A., Khayat, A., & Smith, M. D. (2015). Strong water isotopic anomalies in the martian atmosphere: Probing current and ancient reservoirs. *Science*, 348(6231), 218-221. <https://doi.org/10.1126/science.aaa3630>

Anexo I: Guía de la práctica

*Búsqueda de cráteres de impacto candidatos para
exploración por la misión ExoLife 2028*



Biología y Geología, 1º de Bachillerato

Prof. Semidán Robaina Estévez

Introducción

La Agencia Espacial Europea (ESA) está preparando una nueva misión a Marte, ExoLife 2028. La cual enviará un rover (robot) al planeta rojo con el objetivo principal de buscar indicios de vida antigua en un ambiente lacustre. Por ello, es necesario elegir un sitio apropiado en la superficie del planeta para la misión. Se sabe que Marte tuvo agua líquida hace mucho tiempo (más de 3.6 mil millones de años), y que el agua líquida se acumulaba en cráteres de impacto formando lagos. Estas regiones son muy interesantes para la misión puesto que podrían haber sido ambientes idóneos para el desarrollo de la vida.

La dirección de ExoLife 2028 les ha convocado a ustedes, científic@s e ingenier@s, para que identifiquen cráteres candidatos para la misión. Se han formado varios grupos para maximizar las posibilidades de éxito. El destino final se elegirá entre los cráteres candidatos propuestos por los diferentes grupos de expert@s. Existen una serie de características, o variables, que determinan la idoneidad de un cráter para ser lugar de destino de la misión. Algunas de esas características son de ámbito científico, y maximizan la probabilidad de que el cráter haya albergado a un lago en la antigüedad. Otras características son de ámbito técnico, y maximizan la probabilidad de que la nave que contiene al rover aterrice con éxito en Marte. Cada variable, o característica, tiene asignada una serie de puntos dependiendo de su valor, de tal manera que al final puedas obtener una puntuación final de “idoneidad” para tu cráter candidato. Como científic@ o como ingenier@, te encargarás de asegurar que las variables correspondientes tienen valores adecuados para garantizar el éxito tanto científico como técnico de la misión.

En esta guía encontrarás cómo acceder a *Mars Trek*, la principal herramienta que usaremos para explorar Marte, la definición de las variables dentro de cada categoría, y los puntos asociados a cada valor de variable para que puedas encontrar, junto con tus compañer@s, el mejor cráter candidato en base a los objetivos de la misión. Además, la guía contiene un caso-ejemplo donde se han calculado los puntos totales obtenidos para el cráter Jezero.

¿Qué hay que hacer?

Objetivo: Encuentra, junto con tus compañer@s, cráteres candidatos para la misión. Para ello, usa la aplicación web *Mars Trek* y sigue el sistema de puntuación marcado por las diferentes variables que definen un cráter. Elige el cráter que obtenga la mayor puntuación total.

Producto evaluable: Cada grupo elaborará un pequeño informe (la estructura del informe está incluida en esta guía) donde explicará cómo ha elegido al cráter candidato y cómo ha hecho las mediciones de los valores de las diferentes variables. Además, cada grupo grabará un pequeño video (no más de 2 minutos) donde bien tod@s l@s integrantes del grupo, o un/a representante explicará las características principales del cráter candidato elegido, y defenderá su candidatura para la misión.

Esquema de la práctica

1. Dirígete a la aplicación web *Mars Trek* de la NASA: <https://trek.nasa.gov/mars/>
2. Una vez en *Mars Trek*, selecciona la capa de datos topográficos “MGS MOLA and Mars Express HRSC, Color Hillshade Blend” dentro de la pestaña “Search”.
3. Realiza una búsqueda de cráteres candidatos junto a tus compañer@s. O bien, cada cual puede hacer una primera búsqueda de forma individual y luego hacer una puesta en común grupal para elegir el cráter candidato. Ten en cuenta el código de colores del mapa topográfico de MOLA: los colores fríos representan puntos de menor altitud que los colores cálidos (la leyenda está disponible en la capa de datos MOLA dentro de *Mars Trek*)
4. Apunta las coordenadas geográficas del cráter elegido (elige un punto central al cráter para las coordenadas) y toma una captura de pantalla del cráter.
5. Calcula los valores de las diferentes variables para cada cráter elegido (al menos uno por grupo) y asigna una puntuación. Toma capturas de pantalla del proceso de medición del diámetro y la profundidad del cráter como se muestra en el ejemplo situado al final de esta guía.

6. Calcula la puntuación total obtenida por el cráter y rellena la tabla de puntuaciones adjunta más adelante.

7. Haz una puesta en común con tus compañer@s si decidieron realizar una búsqueda individual para decidir qué cráter será el candidato del grupo.

Definición de las variables

Dividiremos las variables que caracterizan la idoneidad de un cráter para la misión en dos categorías: aquellas que son objetivos **científicos** de la misión y aquellas que son objetivos técnicos o de **ingeniería**. Las primeras definen aspectos que son importantes para el éxito científico de la misión, encontrar un cráter que contenía agua y que, por tanto, pudo tener las condiciones idóneas para albergar vida. Las segundas, son variables importantes para el éxito técnico de la misión, que el rover (robot) de ExoLife 2028 aterrice sin problemas en el cráter y sin perder funcionalidad.

Variables de objetivos científicos:

Canales: Presencia o ausencia de canales (de entrada y/o salida) y/o de deltas.

Notas:

- La presencia de canales o deltas es señal inequívoca de que el cráter contuvo agua durante un periodo prolongado de tiempo. Un cráter con canales o deltas es muy buen candidato. Sin embargo, no es requisito indispensable.
- Los canales o deltas no se ven bien con la capa de datos de MOLA (el mapa topográfico). Es mejor cambiar a la capa base de imágenes reales (o simplemente ocultar MOLA asignando una opacidad de 0%). La capa base contiene regiones de imágenes de alta resolución sacadas con la cámara HIRISE (del satélite Mars Reconnaissance Orbiter) que sí permiten ver canales y deltas.

Diámetro: Diámetro del cráter medido en el punto de máximo diámetro (aproximado), medido en Km.

Notas:

- Un cráter de mayor tamaño tuvo más posibilidades de albergar un lago que no se secaba durante posibles sequías. Siendo por tanto un ambiente más estable para la vida.
- Traza la línea con la herramienta de medición en los lugares donde el borde del cráter sea claramente visible (a veces parte del borde está completamente erosionado y es muy difícil de ver).

Profundidad: Máxima distancia entre el borde y un punto del interior del cráter medida perpendicularmente a la base del cráter (m).

Notas:

- De forma similar al diámetro, un cráter profundo podría haber contenido mayor cantidad de agua y, por tanto, albergar un ambiente acuático más estable para la vida.
- Tómallo como una medida aproximada de la profundidad máxima, para ello traza una o varias líneas usando la herramienta de perfil de elevación, asegurándote de que el borde del cráter está incluido en la línea. Halla el punto más profundo con respecto a alguno de los bordes, o calcula la media si realizaste varios perfiles de elevación.

Cráteres interiores: Número de cráteres interiores (es decir, más jóvenes).

Notas:

- Marte dejó de tener agua en estado líquido hace mucho tiempo, por tanto, los cráteres han de ser lo suficientemente antiguos como para haber existido durante el periodo en el que había agua líquida. El número de cráteres interiores y también la erosión de los bordes son indicadores de la edad del cráter.

Variables de objetivos de ingeniería:

Latitud absoluta: Latitud, sur o norte, a la que se encuentra el cráter (medida en grados).

Notas:

- El rover de la misión que buscará signos de vida en el cráter depende del suministro diario de energía solar para su correcto funcionamiento. Además, la electrónica se ve afectada por las bajas temperaturas (inferiores a $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$) que son tan comunes en latitudes altas, tanto del hemisferio norte como del sur. Por tanto, idealmente, el cráter debería localizarse en zonas ecuatoriales o tropicales.
- Recuerda que la latitud es positiva si está al norte del ecuador y negativa si está al sur. La longitud es positiva si está al este del meridiano 0 y negativa si está al oeste del meridiano 0.

Relieve: Máxima distancia (m) entre picos o montículos interiores.

Notas:

- El relieve del interior del cráter ha de ser suave para maximizar la probabilidad de un aterrizaje exitoso. Hay que tener en cuenta que, debido a la distancia tan grande que separa Marte y la Tierra, no podemos decirle a la sonda cómo aterrizar. El aterrizaje ha de ser automático. Por ello, el interior del cráter ha de presentar regiones amplias sin montículos o picos interiores.

Altitud: Altitud (respecto a la altitud 0 o altitud media de la superficie de Marte) a la que se encuentra el cráter, medida desde el punto más bajo del cráter (m).

Notas:

- La nave que transporta el rover a Marte viaja a mucha velocidad. Para aterrizar, la nave desacelera mediante la fricción que provoca la atmósfera (primero contra la propia nave y luego desplegando un paracaídas). La atmósfera marciana es bastante tenue, siendo su presión a nivel del suelo solo un 1% de la presión que tenemos en la Tierra. Por ello, necesitamos garantizar que el cráter no se encuentra a demasiada altitud sobre el nivel medio del planeta, para que exista suficiente distancia de frenado.

- Usa el valor mínimo del perfil de elevación que empleaste para calcular la profundidad máxima.

Sistema de puntos para cráteres candidatos

Para clasificar a los cráteres candidatos en un ranking (de mejor a peor candidato), nos basaremos en un sistema de puntos asignados a varios rangos de valor de las variables presentadas previamente. Para calcular la puntuación total del cráter, simplemente sumaremos los puntos obtenidos por cada variable. La siguiente tabla muestra los puntos asignados a los diferentes rangos de valor de las variables:

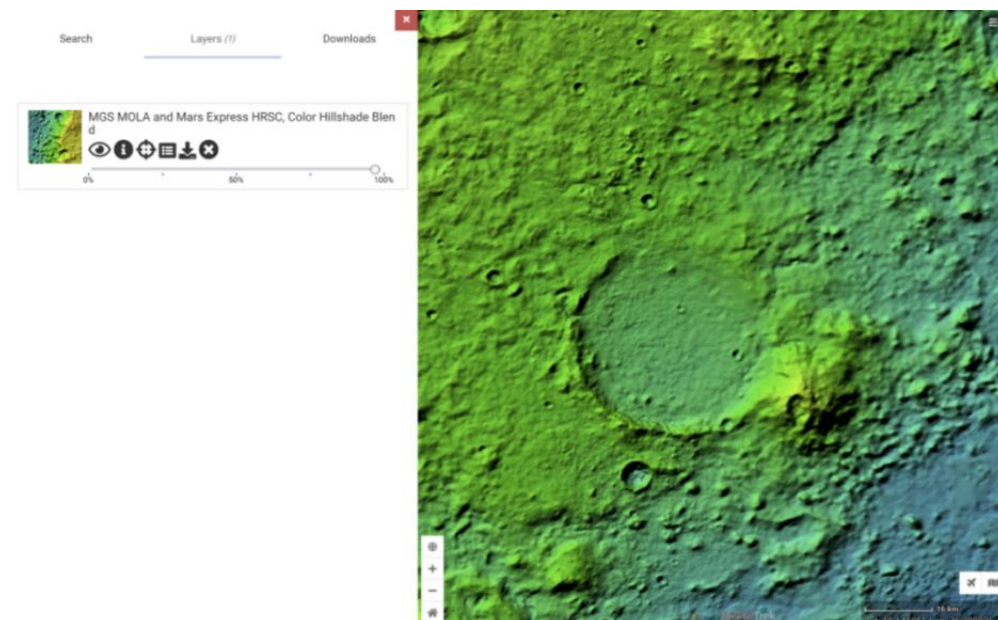
	Puntos	0	5	10	15	20
Científicas	Canales / Delta	No	-	-	-	Sí
	Diámetro (Km)	< 30	[30, 70)	[70, 120)	[120, 200]	> 200
	Profundidad(m)	< 50	[50, 100)	[100, 500)	[500, 1000]	> 1000
	Cráteres interiores	0	[1, 5)	[5, 10)	[10, 15]	> 15
Técnicas	Latitud abs. (°)	> 35	(30, 35]	(20, 30]	(10, 20]	< 10
	Relieve (m)	< 100	[100, 500)	[500, 1000)	[1000, 5000]	> 5000
	Altitud (m)	> 2000	(1000, 2000]	(0, 1000]	(-1000, 0)	< -2000

Un ejemplo: El Cráter Jezero

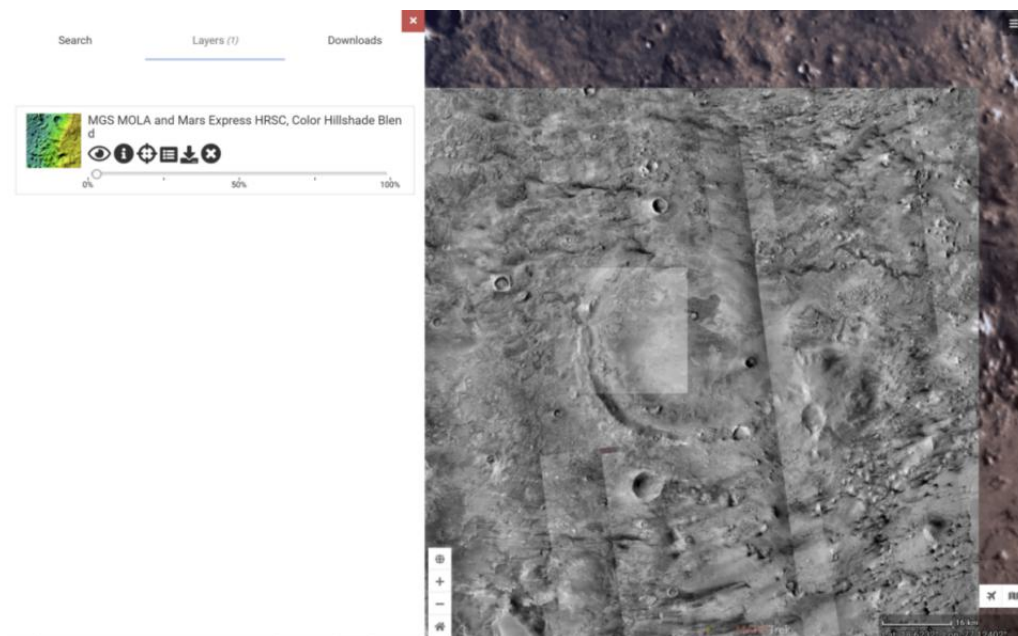
El cráter Jezero es un antiguo cráter que contuvo a un lago en su interior, está situado en las coordenadas (18.5, 77.7) y es el cráter elegido para la misión Mars 2020 de la NASA, actualmente en curso. Vamos a calcular la puntuación total de Jezero basándonos en la guía de puntos y variables presentada anteriormente.

Diámetro, edad y presencia de canales o deltas

Lo primero, si viajamos a las coordenadas de Jezero usando la capa de datos topográficos (MOLA) nos encontramos con esta imagen del cráter:

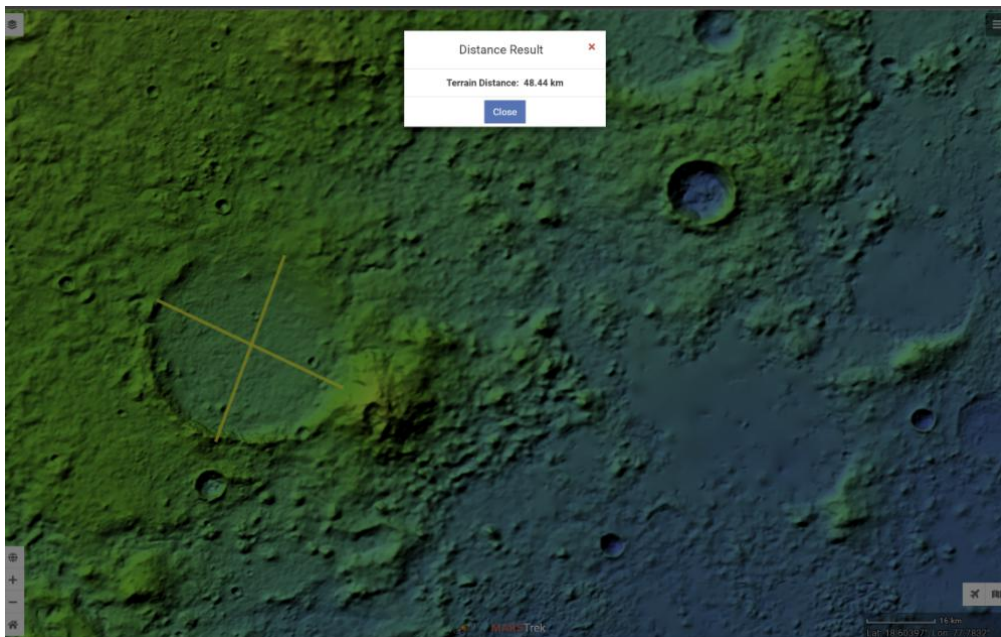


Si eliminamos la capa de datos topográficos (cambiando la opacidad a 0%), nos quedamos con las imágenes reales. En este caso, disponemos de imágenes de alta resolución de la cámara HIRISE:



Vemos que las imágenes de MOLA nos permiten ver los bordes del cráter con mayor claridad, lo cual facilita las mediciones. Sin embargo, las imágenes de HIRISE nos permiten ver el antiguo canal de entrada y de salida de agua, así como el delta que se encuentra al final del canal de entrada.

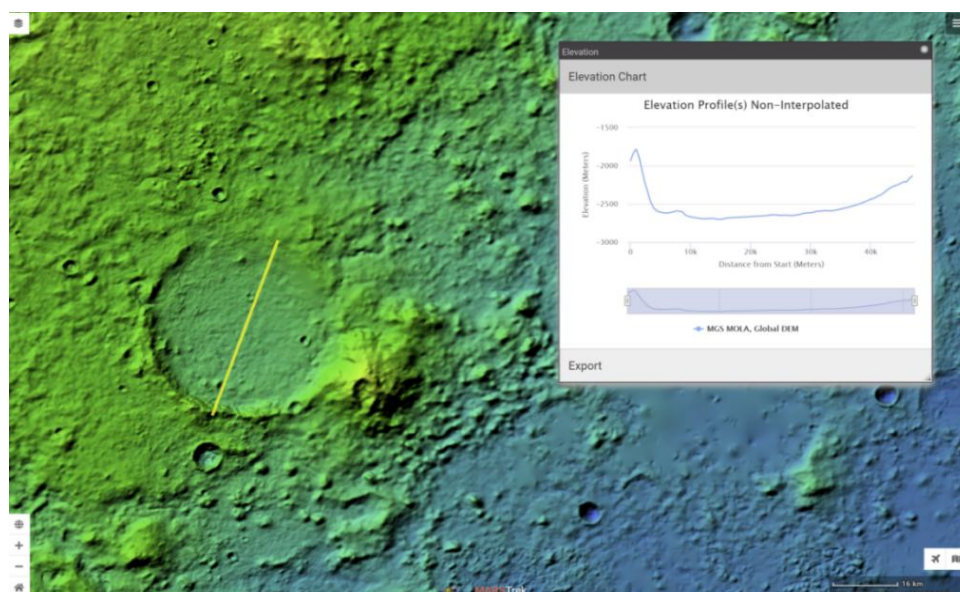
A continuación, vamos a medir el diámetro del cráter, así como obtener su perfil topográfico:



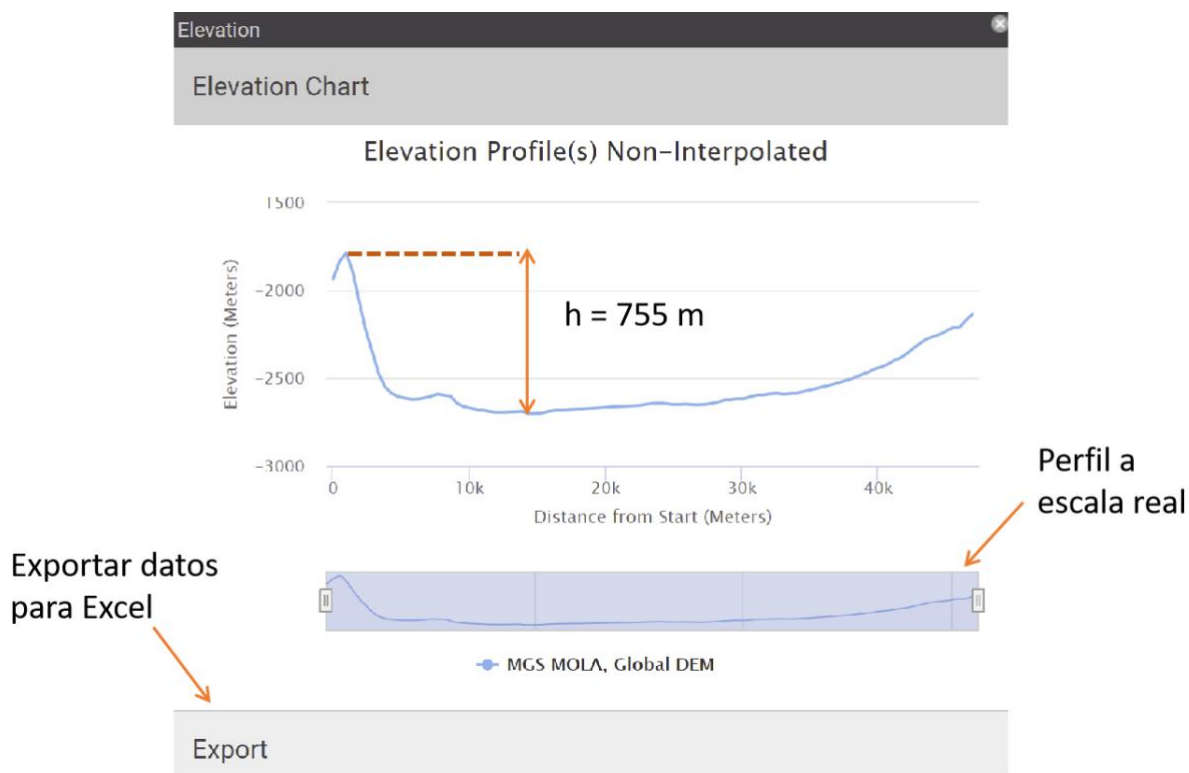
El diámetro medio entre los dos ejes elegidos es 48.5 Km. No necesitamos demasiada precisión, con obtener el número entero de Km nos vale para el sistema de puntuación.

Profundidad máxima, altura y relieve

Vamos ahora a obtener el perfil de elevación de uno de los ejes. Nos aseguramos de que la línea elegida incluye al borde del cráter para poder calcular la profundidad máxima del mismo:

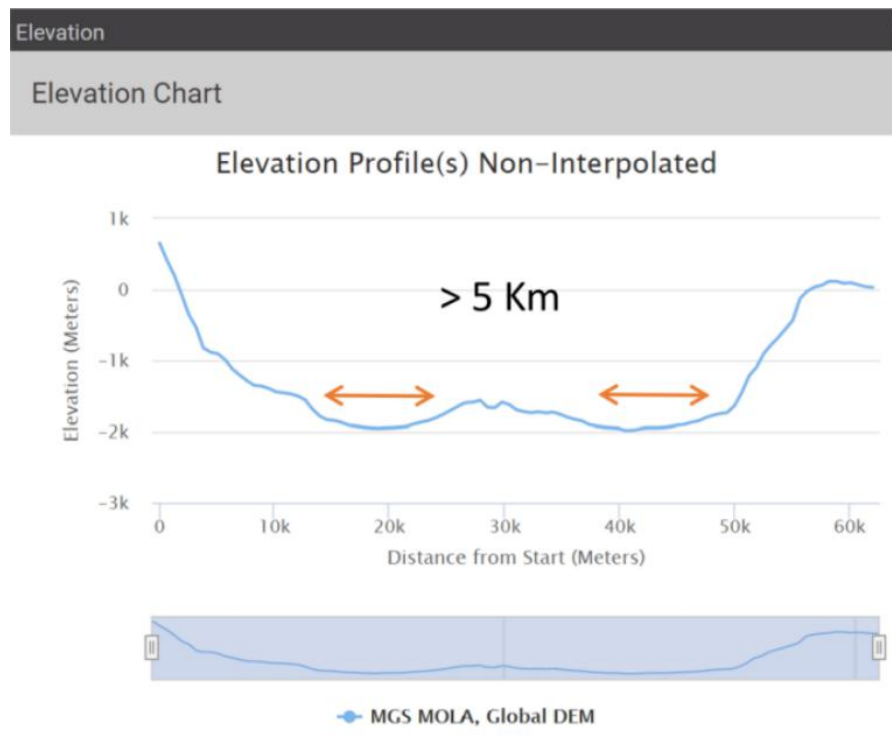


Aquí tenemos un detalle del perfil de elevación calculado. Con estos datos de elevación podemos medir la profundidad máxima del cráter (diferencia entre la altura máxima y la altura mínima). Esta medida la podemos tomar aproximadamente de forma visual, trazando una línea perpendicular al terreno en el punto con menor elevación y evaluando la diferencia entre la altura máxima y la mínima:



Sin embargo, esta forma de hacer la medida es algo liosa, además de poco precisa. Para solucionar este problema, podemos calcular la profundidad máxima directamente desde los valores numéricos de elevación del perfil de elevación. Para ello, exportamos los datos en formato “csv”, cliqueando en el apartado “Export” y seleccionando “csv” como formato. Este archivo contiene los valores numéricos de elevación. Para facilitar el cálculo, podemos leer este archivo con el programa Excel y calcular la profundidad máxima usando la función $f(x) = MAX() - MIN()$. Si no sabes cómo usar Excel, pregunta en clase y lo resolvemos juntos.

El relieve del cráter Jezero es muy suave. No encontramos ninguna formación interior que pueda suponer un problema para la misión. Busquemos otro cráter que tenga un relieve interior más interesante, por ejemplo, este cráter situado cerca de Jezero, en las coordenadas (20.75, 75.78):



En este caso, podemos observar un pico central interior que sobresale sobre la base del cráter. Sin embargo, el espacio entre el pico central y los bordes es suficientemente amplio, de más de 5 Km en ambos casos.

Cálculo de la puntuación total del cráter Jezero

Ya estamos en condiciones de calcular la puntuación total que ha obtenido el cráter Jezero en nuestro ranking de cráteres candidatos para ExoLife 2028. Para facilitar las cosas, hagamos una tabla recogiendo los valores de las variables obtenidas para Jezero y los puntos correspondientes. Con ello, Jezero ha obtenido 100 puntos en total, y ya sabemos

que es un buen cráter candidato puesto que ha sido el cráter elegido por la misión Mars 2020:

		Valor	Puntos
Científicos	Canales / Delta	Sí	20
	Diámetro (Km)	48.5	5
	Profundidad(m)	755	15
	Cráteres interiores	3	5
Ingeniería	Latitud abs. (°)	18.5	15
	Relieve (m)	>500	20
	Altitud (m)	-2707	20
		Total	100

¿Cómo encontrar Marte en el cielo nocturno?

Está bien ser un poco romántic@ en esta vida... Si observan el cielo nocturno (y no hay panza de burro) de estos días, después del atardecer, y miran hacia el oeste-noroeste (más o menos por donde se pone el sol) podrán ver a Marte con sus propios ojos... Es aquel punto rojizo sobre el horizonte que no titila (¡no vayan a buscar la flecha roja en el cielo!):



Software: [Stellarium Web Online Star Map \(stellarium-web.org\)](http://stellarium-web.org)

Anexo II: Ejemplo de informe de la práctica

Grupo:

Margarita Salas Falgueras, científica.

Santiago Ramón y Cajal, científico.

Rosalind Franklin, ingeniera.

Curso:

1º Bachillerato A

Situación geográfica del cráter candidato:

El cráter candidato “Jezero” se encuentra localizado en las coordenadas (18.5, 77.7), situado en la región tropical del hemisferio norte. La altitud del cráter con respecto a la altitud media de Marte es de -2707 m.

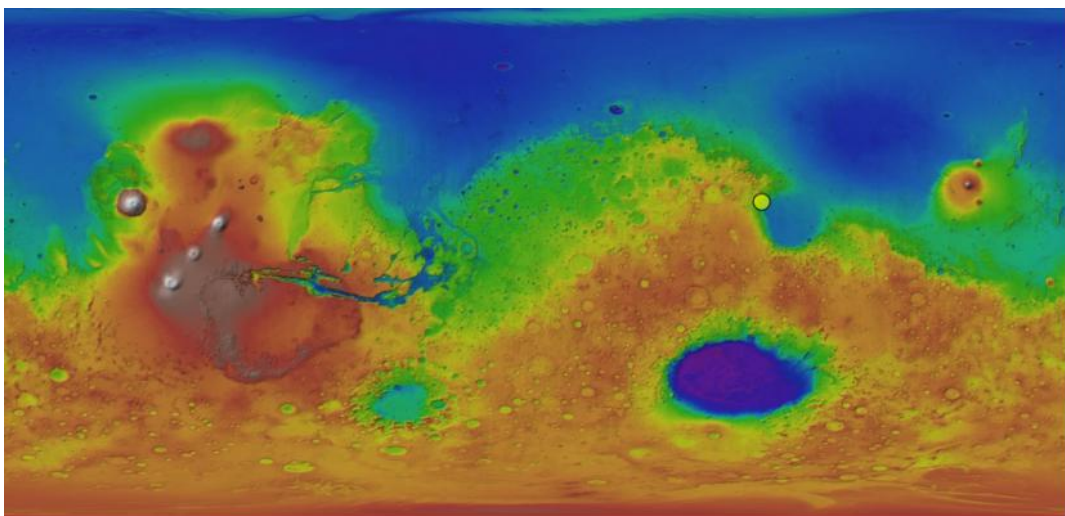


Figura 1. Situación del cráter candidato en Marte

Diámetro, profundidad máxima y relieve interior:

El cráter tiene un diámetro aproximado de 48.5 Km y una profundidad máxima de 755 m. El relieve interior es llano y muy uniforme, no hay presencia de grandes picos interiores que dificulten la maniobra de aterrizaje.

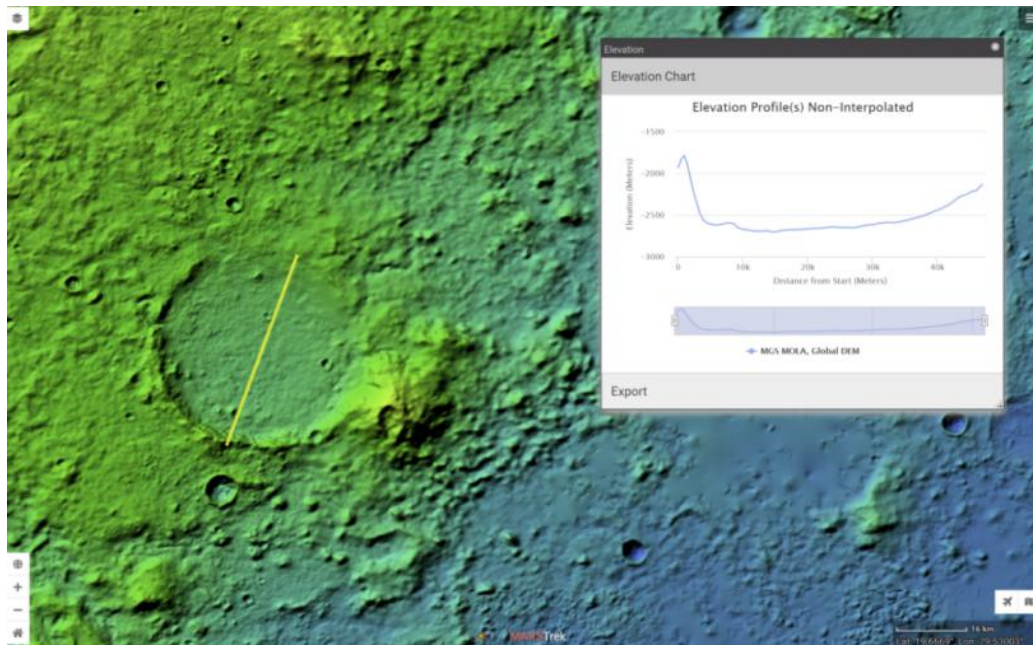


Figura 2. Perfil de elevación del cráter candidato.

Antigüedad estimada e indicadores fluviales

El cráter presenta signos de erosión. Particularmente, la pared noreste se encuentra erosionada casi en su totalidad. Además, identificamos tres cráteres de impacto interiores y, por tanto, posteriores a la formación del cráter candidato.

El cráter candidato presenta un antiguo lecho fluvial que corresponde a un canal de entrada al antiguo lago que contenía. Esta observación está apoyada por la presencia de una estructura que parece ser un delta fluvial, situado en la desembocadura del canal de entrada, y visible sólo en la capa de datos correspondiente a imágenes de alta resolución de la cámara HIRISE.

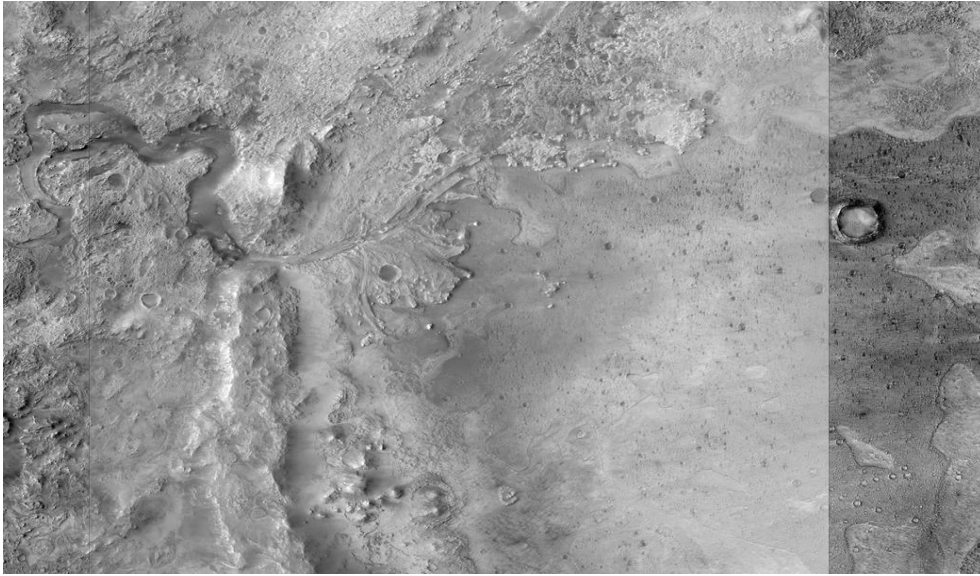


Figura 3. Imagen de alta resolución del cráter candidato tomada por el instrumento HiRISE.

Tabla de puntuación de las variables

Basándonos en los valores medidos de las variables estudiadas, asignamos una puntuación total de 100 puntos al cráter candidato. A continuación, presentamos el desglose de puntos para cada variable:

		Valor	Puntos
Científicos	Canales / Delta	Sí	20
	Diámetro (Km)	48.5	5
	Profundidad(m)	755	15
	Cráteres interiores	3	5
Ingeniería	Latitud abs. (°)	18.5	15
	Relieve (m)	>500	20
	Altitud (m)	-2707	20
		Total	100

Conclusiones

Presentamos la candidatura del cráter Jezero como lugar de destino de la misión ExoLife 2028. Consideramos que Jezero es un candidato excelente porque presenta características interesantes desde un punto de vista científico y favorables desde un punto de vista técnico.

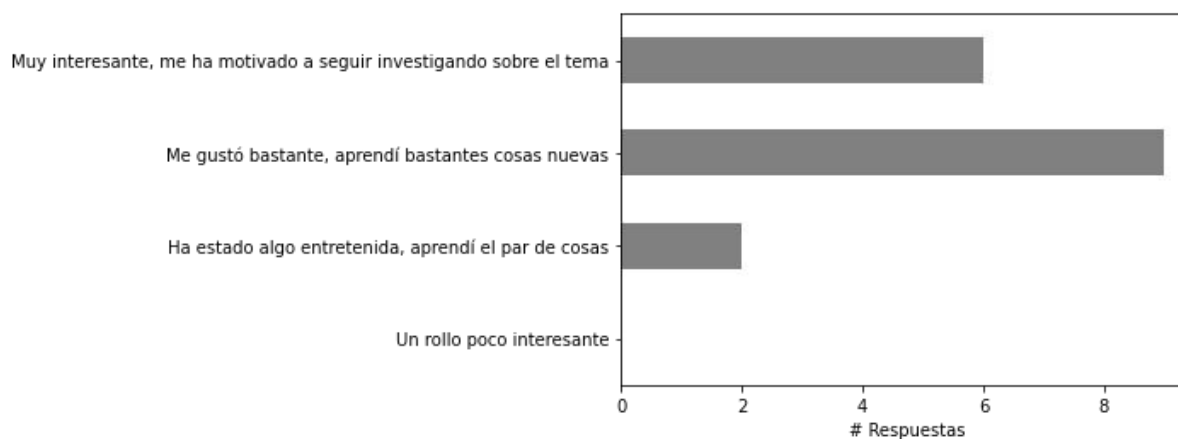
A nivel técnico, el cráter se encuentra situado en la región tropical marciana, a una latitud que garantiza el aporte suficiente de energía solar al rover. Además, la altitud de -2707 m con respecto al valor de referencia, garantiza que habrá suficiente atmósfera para un descenso seguro del rover. Por otra parte, el relieve interior del cráter es suave y no existen obstáculos que dificulten el aterrizaje de la nave.

A nivel científico, el cráter parece ser lo suficientemente antiguo, grande y profundo, como para haber albergado un lago estable en el pasado. Esta hipótesis se ve claramente apoyada por la presencia de restos de estructuras fluviales antiguas: canales de entrada y un delta en la desembocadura del canal.

Por estos motivos, proponemos Jezero para evaluación como destino de ExoLife 2028. En base a lo que hemos observado, Jezero es el mejor cráter candidato para la búsqueda de signos de vida pasada en el planeta Marte.

Anexo III: Cuestionario anónimo de evaluación de la actividad

1. En general, esta actividad me ha parecido...



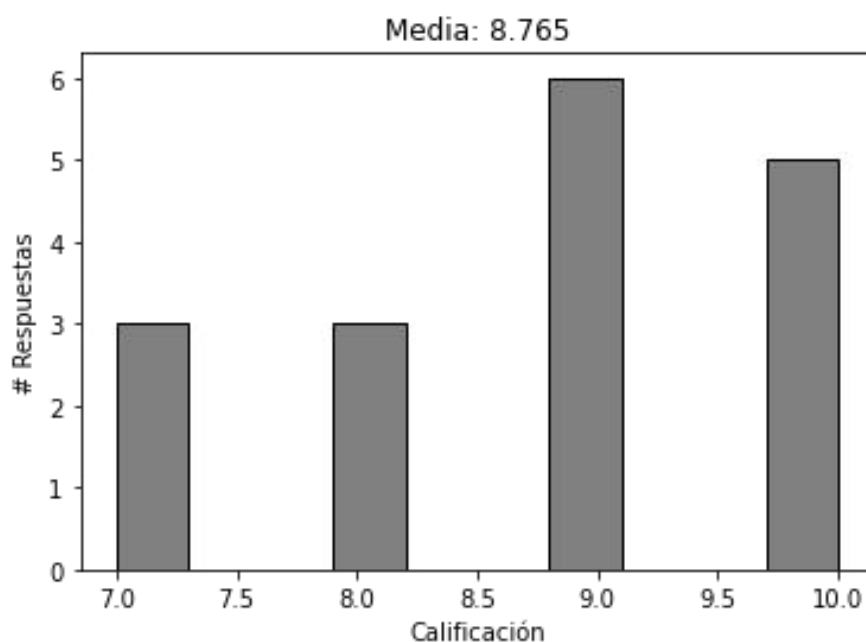
2. ¿Qué cambiarías de la actividad?

- No creo que haga falta cambiar nada, me parece que está genial
- Nada (x7)
- Nada, estaba muy bien
- Nada, me ha encantado
- Que sean más sesiones
- Nada me gusto bastante
- No cambiaría nada
- Añadiría comparar cada cráter del grupo
- Que no se relaciona mucho con la Tierra y debería relacionarse más
- No centrarnos solo en un cráter sino en todo el planeta.
- Cambiaría la duración del vídeo para que sea más largo y así poder añadir valoraciones personales u otras observaciones.

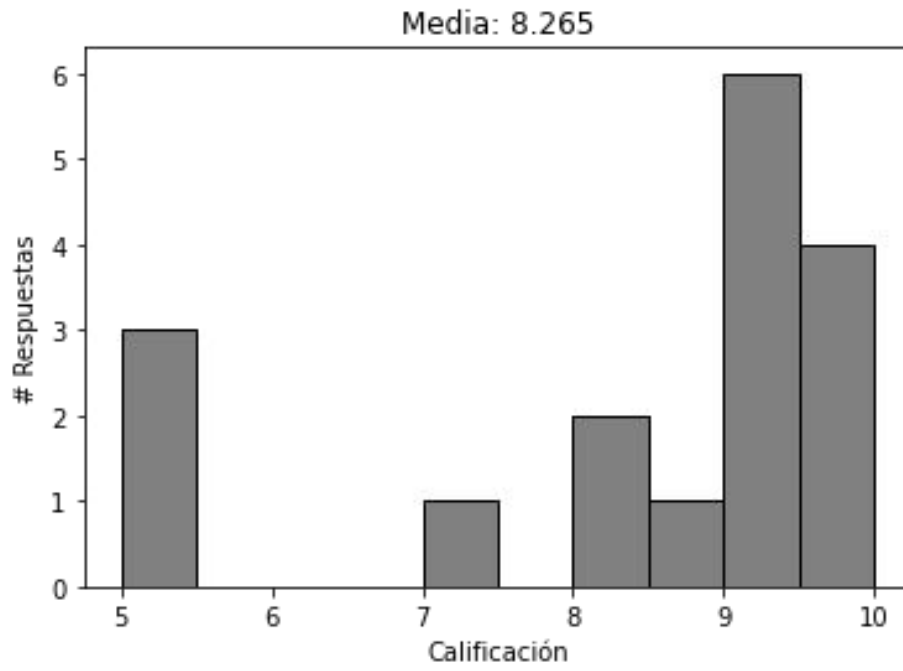
3. ¿Qué es lo que más te ha gustado o llamado la atención?

- La historia de la misión
- El programa
- El mapa
- Hacer el video, fue divertido
- El margen a la creatividad y a investigar
- Lo que más me ha gustado es la temática y el poder elegir un cráter real, como posible destino de una misión futura
- Explorar un planeta que no haya sido la Tierra
- En general me ha gustado todo, las explicaciones muy completas y muy interesante el trabajo
- Haber podido ser parte de una investigación sobre el pasado de Marte
- Me ha parecido muy interesante la comparación de la geología de Marte con la de la Tierra
- La actividad en sí, el hecho de buscar un cráter para la investigación
- Todas las investigaciones diferentes que se podrían llegar a hacer en un cráter
- Lo bien que está hecha la web con todos los detalles de Marte

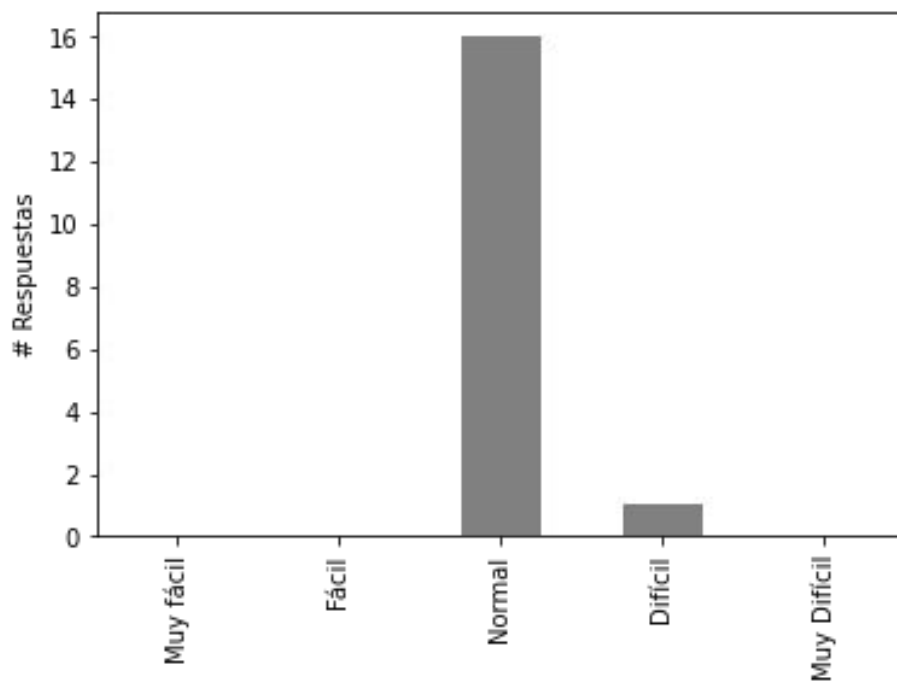
4. ¿Qué calificación le darías al trabajo que has hecho dentro de tu grupo?



5. ¿Qué calificación le darías al trabajo desarrollado por tu grupo?



6. ¿Cómo valoras el esfuerzo dedicado a esta actividad?



7. Si quieres, puedes añadir alguna justificación a las calificaciones que has asignado previamente

- Nos hemos esforzado mucho y hemos aprendido mucho con el trabajo
- Creo que en general hemos hecho un buen trabajo
- Prácticamente hice yo todo el trabajo
- Todos hemos trabajado por igual y creo que el cráter y el informe están bastante bien
- Opino que mi calificación es un 10, debido a mi participación y a la edición del vídeo
- El esfuerzo ha sido normal porque nos ha costado un poco encontrar el cráter idóneo y encontrar algunos datos que nos pedían
- Opino que la calificación de mi grupo es un 9, pues no todos han trabajado equitativamente
- Hemos trabajado en grupo y el cráter tiene todas las características perfectas para hacer la investigación