

## Mineralogía con Tacto

### *Mineralogy with Touch*

FERNANDO MUÑIZ<sup>1</sup>, ANTONIO ROMERO<sup>1</sup>, RUBENS MARTÍNEZ<sup>2</sup>, M<sup>a</sup> VALLE DURÁN<sup>3</sup>,  
M<sup>a</sup> JOSÉ NARVÁEZ<sup>3</sup>, OLIVIA LOZANO<sup>4</sup>, ADOLFO MIRAS<sup>1</sup> Y MÓNICA MARTÍN<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola, Facultad de Química, Universidad de Sevilla, C/ Profesor García González, nº 1, 41012 Sevilla, España. E-mail: fmuniz@us.es, aromero@us.es, amiras@us.es

<sup>2</sup> Plza. Italia, 6, 3<sup>o</sup>C, 41089, Montequinto, Dos Hermanas, Sevilla, España.

E-mail: rubensmartinezramos1993@hotmail.com

<sup>3</sup> Centro de Recursos Educativos, ONCE, C/Campo de los Mártires 10, 41018, Sevilla, España.

E-mail: mvd@once.es, mnv@once.es

<sup>4</sup> Museo de Geología, CITIUS, Universidad de Sevilla, Avd. Reina Mercedes 4B, 41012 Sevilla, España.

E-mail: museogeologia@us.es

<sup>5</sup> PALEONEXIA, C/Isa Canela, blq. 5, 1<sup>o</sup>, 21440, Lepe, Huelva, España. E-mail: paleonexia@gmail.com

**Resumen** En este trabajo se describe la actividad (taller-exposición) de divulgación científica inclusiva realizada dentro del Proyecto Mineralogía con Tacto de la Universidad de Sevilla y en colaboración con la Organización Nacional de Ciegos Españoles (ONCE). El taller se realizó en el Centro de Recursos Educativos ONCE de Sevilla para estudiantes con diversidad funcional visual de 3<sup>o</sup> y 4<sup>o</sup> de la ESO de las Comunidades Autónomas de Andalucía y Extremadura. El taller-exposición versó sobre los minerales, sus propiedades físicas, sus usos y su condición como formadores de rocas. Con el objetivo de hacer efectivo el aprendizaje de este alumnado, los contenidos se diseñaron, trabajaron y experimentaron desde las propiedades organolépticas o sensoriales de los minerales. La valoración del alumnado sobre el enfoque de este taller como estrategia de aprendizaje de conceptos geológicos fue muy positiva.

**Palabras clave:** Educación inclusiva, diversidad funcional visual, propiedades organolépticas, Geología, minerales.

**Abstract** *This paper describes an activity (workshop-exhibition) of inclusive scientific divulgation carried out in the framework of the Project 'Mineralogy with Touch' supported by the University of Sevilla in collaboration with the National Organization of Spanish Blind People (acronym 'ONCE' in Spanish). The workshop was held in the facilities of the 'Educational Resource Center ONCE' (Seville) for students with visual functional diversity. The students, belonging to the 3rd and 4th courses of secondary education (acronym 'ESO' in Spanish), came from Andalusia and Extremadura (southern and western Spain, respectively). The workshop-exhibition focused on minerals, their physical properties, their uses and their conditions as rock-forming minerals. In order to make effective the learning of these students, the contents were designed, developed and experimented from the organoleptic or sensorial properties of minerals. The aim of this workshop as a learning strategy for geological concepts was positively assessed by the students.*

**Keywords:** *Inclusive education, visual functional diversity, organoleptic properties, Geology, minerals.*

## INTRODUCCIÓN

El acceso al conocimiento científico es un derecho universal contemplado en la *Carta Internacional de Derechos Humanos* (García-Frank *et al.*, 2014; García-Frank y Gómez-Heras, 2016). En particular, tanto en el artículo 27 del documento *Declaración Universal de Derechos Humanos* de 1948, como en el art. 15 del *Pacto Internacional de Derechos Económicos, Sociales y Culturales*, adoptado en 1966 por la Asamblea General de las Naciones Unidas

(Organización de Naciones Unidas, 1966) se expone, *grosso modo*, “toda persona tiene derecho a tomar parte en la vida cultural y a gozar y beneficiarse de los avances científicos”. La interacción del progreso científico con la sociedad no se puede considerar plena si no llega a todos sus colectivos, de manera especial a las personas con diferentes tipos de diversidad funcional y/o necesidades educativas especiales (NEE).

Según la *Clasificación Internacional del Funcionamiento, de la Discapacidad y de la Salud* de la

Organización Mundial de la Salud (OMS), la diversidad funcional incluye déficits, limitaciones en la actividad y restricciones en la participación, con indicación de los aspectos negativos de la interacción entre un individuo y sus factores ambientales y personales (Organización Mundial de la Salud y Grupo del Banco Mundial, 2011). En el caso particular de las limitaciones relacionadas con la visión, la diversidad funcional visual (ceguera y deficiencia visual) se define como “la limitación total o muy seria de la función visual” (Organización Nacional de Ciegos Españoles, 2017). Según la Organización Nacional de Ciegos Españoles (ONCE) el 80% de la información necesaria para la vida cotidiana implica el órgano de la visión, que también se presta fundamental para la adquisición de conocimientos basados en información visual. El hecho de “no ver” no significa que personas con esta limitación funcional no tengan el derecho y la capacidad de adquirir conocimientos y, en particular, alfabetizarse científicamente (National Research Council, 1996; Bybee, 1997; Pedrinaci *et al.*, 2013).

Para el aprendizaje de las personas con diversidad funcional visual es fundamental ofrecerles, de manera adecuada y adaptada, la máxima información del mundo que les rodea (Instituto de Tecnologías Educativas, 2017). Este “mundo”, visible y tangible, al que llamamos Planeta Tierra, es un cuerpo rocoso constituido por diferentes materiales de cuya comprensión se dedica la ciencia de la Geología. Esta ciencia ha sido señalada como una de las más desconocidas por la sociedad (Fesharaki *et al.*, 2016) debido, entre otros factores, a la reducción de su presencia en nuestro sistema educativo y la as insuficientes labores de divulgación que se realizan (Pedrinaci, 2014; Fesharaki *et al.*, 2016). Si a lo anterior le sumamos, además, que el acceso al aprendizaje de los contenidos de geología por parte de personas con diversidad funcional, bien por canales como el académico, participación en actividades lúdicas o visitas a centros de divulgación (museos, centros de interpretación, planetarios, etc.) es todavía deficitaria y en algunos casos nula, cualquier tipo de actividad inclusiva realizada desde el diseño universal (Fesharaki *et al.*, 2016) acercará a cumplir el objetivo del derecho fundamental a la ciencia de toda la Sociedad.

La Geología en España debe ser una ciencia con mayor divulgación para las personas con diversidad funcional (y ciudadanos en general) con el compromiso entre los propios científicos y las instituciones. En la actualidad, dentro del ámbito académico universitario de las Ciencias de la Tierra hay proyectos que ya son referentes, a destacar, “*Geodivulgar: Geología y Sociedad*” (<http://www.ucm.es/geodivulgar/>) de la Universidad Complutense de Madrid, que realiza desde 2013 una encomiable labor divulgativa de la geología con especial atención a personas con diferentes tipos de diversidad funcional: sordoceguera (Gómez-Heras *et al.*, 2014; Hornecillas *et al.*, 2015; Navalpotro *et al.*, 2015; Fesharaki *et al.*, 2016) e intelectual (García-Frank *et al.*, 2014; Iglesias *et al.*, 2015a y b; Fesharaki *et al.*, 2016). En este sentido, otras instituciones que realizan actividades similares para este público son: Departamento de Cristalografía y Mineralogía



Fig. 1. Logotipo del proyecto “Mineralogía con Tacto” (diseñado por Paleonexia).

de la Universidad Complutense de Madrid (López-Acevedo *et al.*, 2011a y b) y Museo Geominero del Instituto Geológico y Minero de España (IGME) en Madrid (Rodrigo, 2017); así como el proyecto Conciencia Inclusiva (Herrero *et al.*, 2017) de Madrid. En el caso particular de la Comunidad Autónoma de Andalucía, hasta la fecha, las únicas experiencias realizadas de enseñanza-aprendizaje de la geología hacia personas con diversidad funcional visual, han sido: (1) actividades integradas en el ‘Primer Campus Científico de España para estudiantes de Secundaria y Bachillerato ciegos’, organizado por la ONCE y realizado en el Centro de Recursos Educativos (CRE) de Sevilla de la ONCE en julio de 2015 y (2) taller de geología (fósiles y rocas) dentro de las ‘Jornadas lúdicas para el alumnado de tercer ciclo de primaria y primero de secundaria’, organizadas por el CRE Sevilla en febrero de 2016.

En este sentido y entendiendo la necesidad de realizar actividades de divulgación científica inclusivas, desde el Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola de la Universidad de Sevilla (US), en colaboración con el CRE de Sevilla y el “Museo de Geología” ([direccionciencias.us.es/museo/](http://direccionciencias.us.es/museo/)) de la US, se ha llevado a cabo el proyecto “**Mineralogía con Tacto**” (Fig. 1). Este proyecto estuvo subvencionado dentro del capítulo de Ayudas para Actividades de Divulgación Científica del VI Plan Propio de Investigación y Transferencia 2017 de la US. El objetivo principal es continuar con el desarrollo de acciones innovadoras focalizadas principalmente al aprendizaje de las diferentes disciplinas de las Ciencias Geológicas por el colectivo de personas con diversidad funcional visual; pero que, asimismo, sean un canal participativo de divulgación y sensibilización para el resto de la ciudadanía. En la actividad aquí descrita, las acciones se desarrollaron con el formato de taller-exposición para acercar a discentes de este colectivo los minerales, sus propiedades físicas y sus usos en la vida cotidiana.

## METODOLOGÍA

La planificación, diseño y ejecución del taller-exposición se ha realizado conjuntamente por un equipo multidisciplinar constituido por profesores del Área de Cristalografía y Mineralogía de la Facultad de Química de la US, alumnado de la Facultad de Ciencias de la Educación de la US y especialistas del Área de Ciencias del CRE de Sevilla de la ONCE, del Museo de Geología de la US y de PALEONEXIA (empresa dedicada al desarrollo de actividades de cultura científica).

La actividad se realizó en la sede del CRE en Sevilla y participaron 12 discentes (todos con ceguera total) de las Comunidades Autónomas de Andalucía

Tabla I. Temáticas expuestas en cada uno de los paneles. El Panel 1 se centra en las definiciones de mineral y roca y el resto de los paneles se dedican al detalle de las diferentes propiedades físicas y usos de los minerales.

	CONTENIDO	
PANEL 1	<b>¿QUÉ ES UN MINERAL?</b> - Definición - La cristalización - Factores	<b>Y AHORA TOCA... LA ROCA</b> - Definición - Poliminerálicas/Monominerálicas - Tipos según el origen: *Rocas Ígneas / Metamórficas / Sedimentarias
PANEL 2	<b>PROPIEDADES DE LOS MINERALES</b> - Propiedades físicas - Propiedades organolépticas  <b>HÁBITO Y ASPECTO</b> - Definición	<b>EL USO DE LOS MINERALES</b> - Minerales y bienes de consumo
PANEL 3	<b>HÁBITO Y ASPECTO</b> - Minerales como cristales: *Aislados / Maclados / Masivos  <b>DENSIDAD RELATIVA o PESO ESPECÍFICO</b> - Definición	<b>OLOR / COLOR / BRILLO</b> - Definiciones
PANEL 4	<b>FRACTURA / EXFOLIACIÓN / DUREZA</b> - Definición	<b>MAGNETISMO / ASTRINGENCIA / SABOR</b> - Definición

y Extremadura y con un nivel académico de secundaria (3º y 4º de ESO). Tuvo lugar el día 12 de septiembre de 2017 dentro del curso de la ONCE con título “iPonte a punto!”. Posteriormente, y debido al interés suscitado, se organizó en la misma sede una segunda sesión del taller (el 13 de marzo de 2018) para docentes adscritos a la ONCE y a la Junta de Andalucía, con una participación de 14 profesoras.

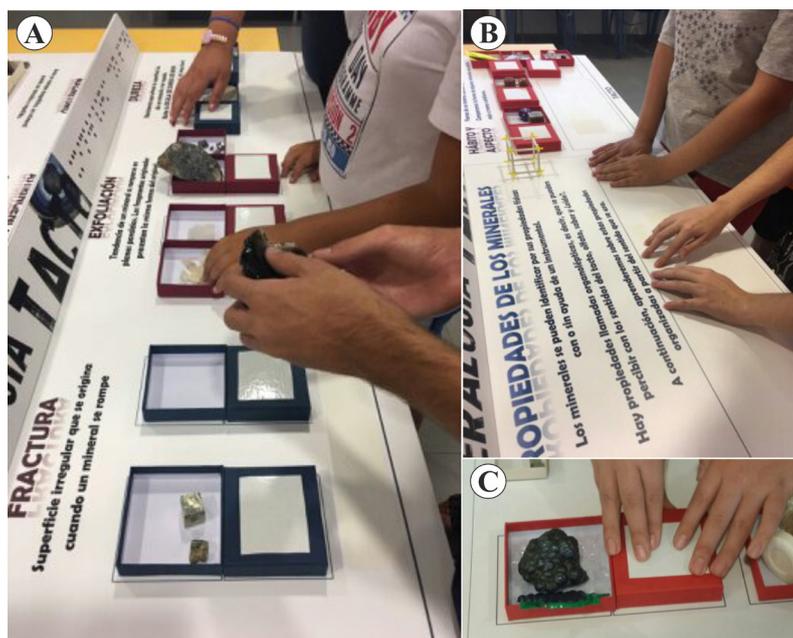
La exposición de ideas y conceptos del proyecto, redacción y presentación de la memoria, diseño y ejecución fueron realizadas durante 2017. En febrero se establecieron los contactos con las diferentes instituciones participantes, CRE de la ONCE, Museo de Geología de la US y PALEONEXIA. La memoria del proyecto fue presentada a comienzos de marzo para acceder a una Ayuda para Actividades de Divulgación Científica del VI Plan Propio de Investigación y Transferencia 2017 de la US; se aprobó por la Comisión de Investigación de la US el 24 de mayo. A partir de su concesión y durante los meses de junio y julio se realizaron reuniones semanales con las ins-

tituciones implicadas fundamentales para depurar estrategias de cara al diseño de los contenidos y su adaptación curricular.

La confección y materialización del Taller-Exposición se llevó a cabo durante los meses de junio a agosto de 2017 y consistió principalmente en:

- Maquetación en cuatro paneles (140 x 100 cm cada uno) de la información sobre los minerales y sus propiedades (ver Tabla I), ordenada en dos mitades con un elemento central divisorio (Figs. 2A y 3), con texto impreso a color en fondo blanco, tamaño de la fuente entre 50-60 puntos con la idea de que pudieran ser leídos por personas con ceguera parcial y, ese mismo texto, transcrito al Sistema Braille en soporte adhesivo blanco (Fig. 2A-B).
- La transcripción del texto de los paneles a braille se realizó en las dependencias del CRE de la ONCE con el uso de la denominada “Maquina Perkins”.
- Las diferentes especies minerales a usar en el taller-exposición se seleccionaron tomando como criterio la recurrencia de estas en los contenidos curriculares de los libros de texto (de diferentes editoriales) de la asignatura Biología y Geología de la ESO. Los ejemplares de los minerales que se expusieron en coordinación con el discurso expositivo diseñado fueron aportados por el Área de Cristalografía y Mineralogía de la US, Museo de Geología de la US y PALEONEXIA. Estos no quedaron en repositorio en el CRE, pero sí a su disposición.
- Los minerales, objetos “cotidianos” de apoyo al aprendizaje (dados, lápiz, móvil, etc.) se dispusieron en el interior de cajas (10 x 10 cm), con poca altura (2,5 cm) y, al lado, se dispuso la tapa de la caja con el texto explicativo en braille pegado en su cara externa.
- Para facilitar la localización y manipulación del material y texto por parte del alumnado (Fig. 2A, C) las cajas y tapaderas se fijaron entre sí y a los paneles.
- En todos los paneles tanto el texto como el material se dispusieron en un mismo orden, es

Fig. 2. A. Detalle de uno de los paneles con la parte central dividida. B. Alumnos leyendo el texto en braille. C. Disposición de un ejemplar de goethita y del plástico con burbujas en el interior de la caja, y lectura de la información en braille pegada en la cara externa de la tapa.



decir, el texto en braille siempre se localiza en la parte del panel más cercana al alumno (Fig. 2) y justo encima se fijaron las cajas y tapas con el material. Esta disposición facilitaba al alumnado la independencia a la hora de acceder a los contenidos, esto es, una vez realizan la lectura arrastran las manos hacia arriba hasta topar con las cajas/tapas accediendo así a la manipulación del material y su información.

El desarrollo de la actividad fue de la siguiente manera:

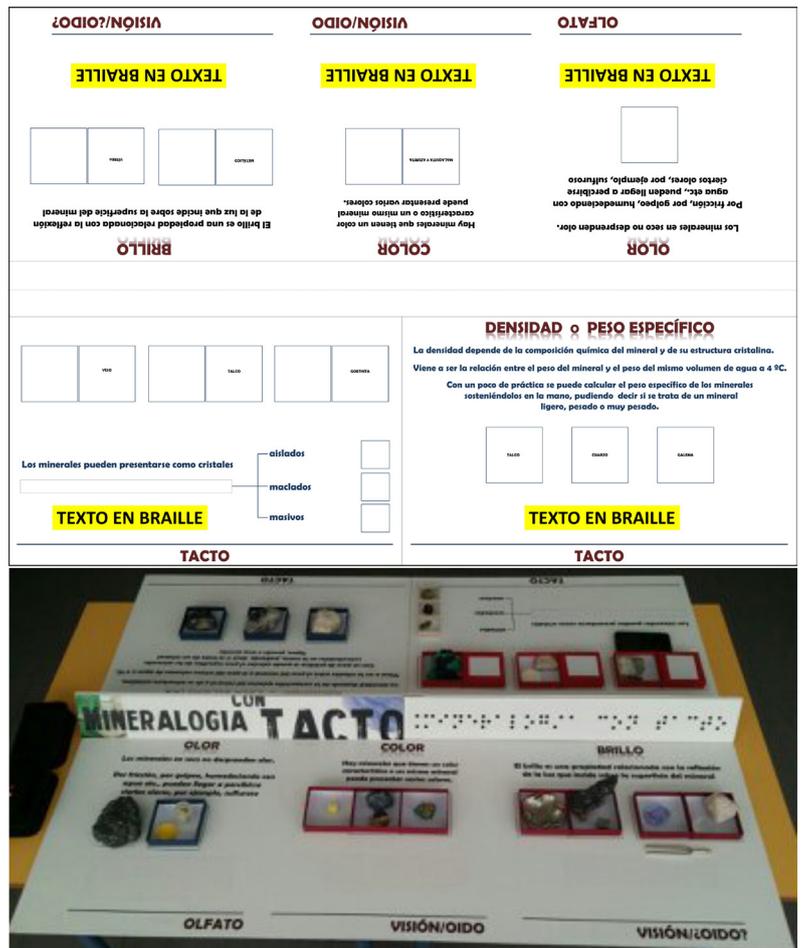
- Los paneles se repartieron en cuatro mesas y en cada una se ubicó una pareja conformada entre los profesores, investigadores y alumnado integrantes del proyecto. Con respecto al alumnado, se crearon cuatro grupos de tres alumnos/as para conseguir una atención más individualizada, lectura detallada de la información y que todos pudieran manipular todos los minerales y objetos expuestos.
- El tiempo que cada grupo de alumnos/as invirtió en cada panel fue de 30 minutos. Aunque el espacio estaba adaptado por si algún discente necesitaba algún receso durante el desarrollo de la actividad, decir que no fue necesario, todo lo contrario, se demoraban en cada panel por la curiosidad que les suscitaba.
- Conforme los grupos terminaban un panel se desplazaban a la siguiente mesa, de tal forma que todos pudieran acceder a toda la información y material.
- Terminado el recorrido, se volvió a formar un solo grupo para realizar una exposición conjunta de dudas, impresiones y evaluación del taller, para así: comprobar el aprendizaje, si se había respondido a las preguntas generadas en la presentación grupal del inicio y valorar el nivel de satisfacción logrado.

## EL DISCURSO DEL TALLER-EXPOSICIÓN

Las personas privadas de visión obtienen la mayor parte de la información a través del lenguaje y la experimentación táctil, cuyo órgano más especializado es la mano (Lucerga, 1993). En un sentido más amplio, la adquisición de conocimientos se realiza mediante **percepción háptica**, es decir, “un sistema de percepción, integración y asimilación de sensaciones, del volumen y forma de los objetos a través de la información sensorial propioceptiva y táctil obtenida por el sujeto de forma activa e intencional” (Instituto de Tecnologías Educativas, 2017).

Precisamente, para la identificación de los minerales suelen utilizarse, entre otras, las propiedades organolépticas, es decir, aquellas que se pueden percibir con los sentidos (textura, hábito, sabor, olor, etc.). En esta línea, el diseño y orden de los contenidos del taller-exposición se realizó desde la perspectiva del sistema de percepción háptica, tomando como referencia los cinco sentidos para facilitar el reconocimiento de los minerales expuestos. El desglose de la información por paneles se aprecia en la Tabla I.

El recorrido de la exposición se había planteado con los paneles formando una sola fila, de ahí el re-



parto de la información en cada panel con el texto dispuesto en dos orientaciones (Fig. 3); pero, como se ha dicho en el apartado de metodología, se decidió repartirlos en cuatro mesas separadas para crear así espacios más personalizados y evitar conflictos durante la circulación.

Fig. 3. Propuesta inicial del diseño de un panel y resultado final durante el taller.

### Los Minerales y los Sentidos

A continuación, detallamos los minerales usados durante el taller, ordenados a partir de las propiedades organolépticas: Tacto, Gusto, Olfato, Visión por Oído.

#### TÁCTO:

Las propiedades físicas de los minerales que se han trabajado desde la percepción táctil han sido: Hábito y Aspecto, Tacto, Densidad relativa o Peso específico, Fractura y Exfoliación, Dureza, Magnetismo y Astringencia.

#### Hábito y Aspecto

Para facilitar la comprensión de los conceptos y que el aprendizaje fuese significativo, esta propiedad se definió genéricamente como “forma” de un mineral cuando tiene o no caras definidas. Los alumnos trabajaron su reconocimiento por asociación, es decir, al tratarse de “formas” se dispusieron junto a cada mineral objetos (que manipulaban primero) con una morfología similar y más o menos cotidianos o conocidos por los discentes. El material utilizado (minerales y objetos) ha sido: pirita de hábito cúbico que se compara con un

Fig. 4. A. Propiedad del Hábito/Aspecto en algunos minerales trabajada por asociación con objetos más o menos cotidianos. B. Discentes comparando el tacto untuoso del talco con el de una pastilla de jabón. C. Perspectiva oblicua de uno de los paneles con el detalle en primer término y a la izquierda de una con un ejemplar de granate almandino comparado con un dado dodecaédrico. D. Alumnos leyendo el texto en braille relativo a la propiedad del Hábito/Aspecto.

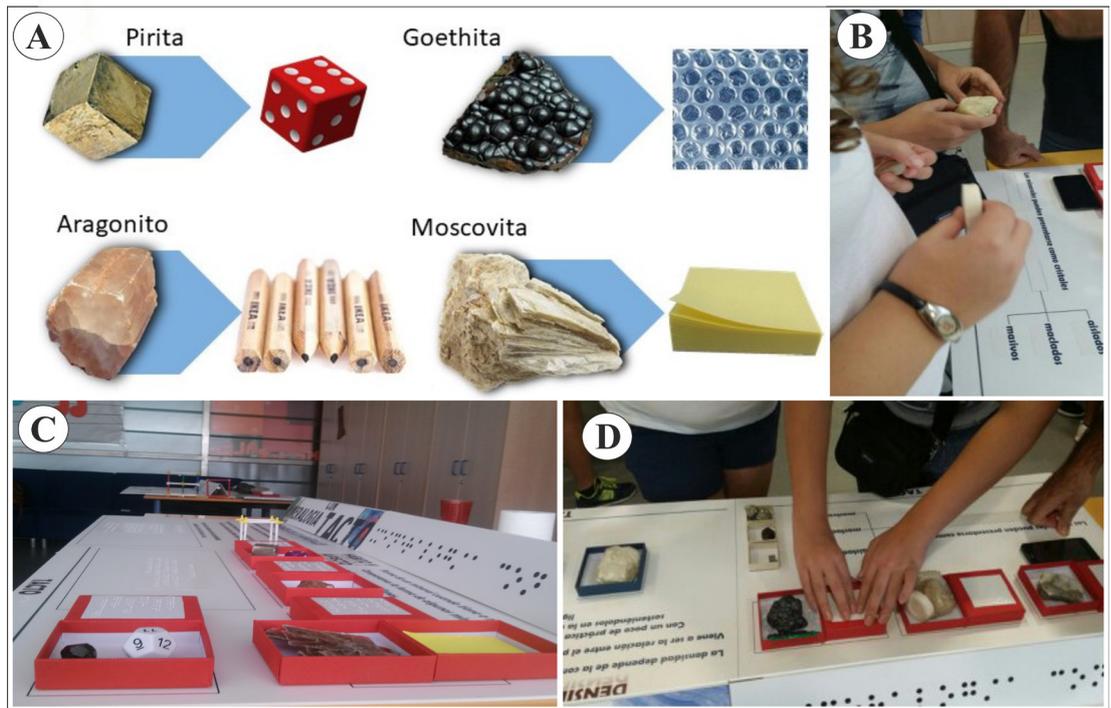


Fig. 5. A. Detalle de la comparación de diferentes densidades en dos minerales (yeso y galena). B. Vista general (recuadro derecho) de la parte del panel dedicado a las propiedades Fractura/Exfoliación y Dureza; así como un detalle ampliado (recuadro izquierdo) del mismo con un alumno leyendo el texto en braille. C. Detalle del uso del imán para comprobar el Magnetismo.

dado (Fig. 4A), el aragonito (hábito hexagonal) con un lápiz (Fig. 4A), el granate almandino (hábito dodecaedral) con un dado dodecaédrico (Fig. 4C), la moscovita que presenta un hábito laminar se equipara con un taco de Post-it (Fig. 4A), el yeso (hábito tabular) con un móvil (Fig. 4D), la goethita de aspecto botroidal se relaciona con un plástico con burbujas (Fig. 4A, D) y el talco (tacto untuoso) con una pastilla de jabón (Fig. 4B, D). Para los conceptos de mineral como cristal aislado, maclado y masivo se utilizaron ejemplares de pirita.

#### Densidad Relativa o Peso Específico

El peso específico es el peso de un mineral comparado con el peso de un volumen igual de agua. Los minerales en general tienen un peso

específico mayor de un 1, o sea pesan más que el agua, si se comparan volúmenes iguales. Se utilizaron tres minerales con densidades dispares: yeso (2,31-2,33 g/cm<sup>3</sup>), cuarzo (2,5-2,8 g/cm<sup>3</sup>) y galena (7,6 g/cm<sup>3</sup>). Para facilitar la asimilación de esta propiedad (Fig. 5A) los profesores combinaban dos de estos minerales (yeso-galena, cuarzo-yeso, cuarzo-galena) que dejaban “caer” en cada mano del alumno, de esta forma sentían cuál de los dos era más “pesado”.

#### Fractura y Exfoliación

Se expusieron definiciones adecuadas de ambos términos (Fig. 5B, D):

- Fractura, superficie irregular que se origina cuando un mineral se rompe. Los minerales empleados fueron una pirita con fractura irregular y un cuarzo con fractura concoidea.
- Exfoliación, tendencia de un mineral a romperse en planos paralelos, obteniéndose “formas” idénticas. Los alumnos manipularon primero ejemplares de mayor tamaño de calcita (exfoliación romboédrica perfecta) y galena (exfoliación cúbica perfecta) y luego, numerosas piezas menores de las mismas especies minerales.

#### Dureza

Resistencia que ofrece la superficie de un mineral a ser rayada. Tras explicar a los alumnos las características de la “Escala de dureza de Mohs”, pudieron sentir que el yeso (con dureza 2) y el cuarzo (con dureza 7) (Fig. 5B) se comportan de distinta manera si se intentan rayar con la uña.

#### Magnetismo

Ante un campo magnético, un mineral puede ser atraído o repelido. A partir de esta premisa, los alumnos probaron la propiedad con el uso de un imán (Fig. 5C) en la magnetita y calcopirita, con y sin magnetismo respectivamente.

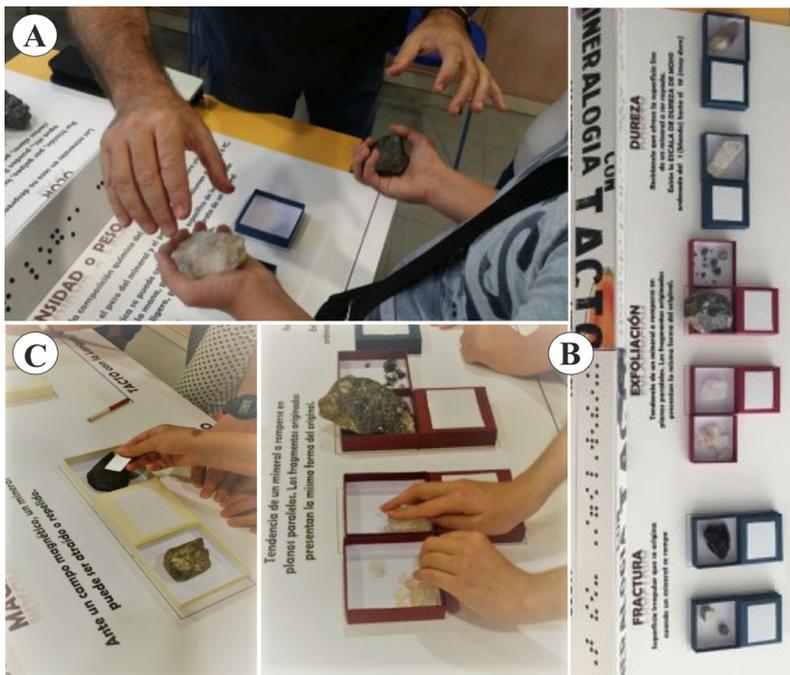




Fig. 6. A. Detalle en primer plano de los minerales (hematites y azufre) con propiedades olfativas. B. Detalle de los minerales empleados (azufre, azurita y malaquita) para la detección del color con el colorímetro. C. Detalle de objetos (metálicos y vítreos) y minerales (hematites, pirita, calcita y cuarzo) para la determinación del brillo mediante el uso del diapason.

#### Astringencia

Para la experimentación de esta propiedad se empleó la sepiolita (filosilicato), su contacto con la lengua provoca una sensación de sequedad.

#### GUSTO:

Algunos minerales al ser solubles en agua (o en saliva) pueden adquirir sabores característicos. Para la práctica se utilizaron la halita y la silvina.

#### OLFATO:

##### Olor

Por lo general, los minerales en seco no desprenden olor, pero por fricción, por golpeo, humedecidos con agua, etc. pueden llegar a percibirse ciertos olores. Para esta propiedad se usaron azufre y hematites (Fig. 6A).

#### VISIÓN/ÓIDO:

Las propiedades del Color y Brillo en los minerales se adquieren por percepción visual. El aprendizaje de los colores para las personas con discapacidad funcional visual se ofrece importante para la vida diaria, desde el significado de los colores de un semáforo, hasta la importancia social del color al combinar las prendas de vestir (Instituto de Tecnologías Educativas, 2017). En el taller se utilizaron herramientas de apoyo para el reconocimiento de estas propiedades, que se detallan a continuación.

#### Color

Se explicó al alumnado que hay minerales que tienen un color característico (idiocromáticos) o que un mismo mineral puede presentar varios colores (alocromáticos). En el taller se usaron tres minerales idiocromáticos azufre (amarillo), malaquita (verde) y azurita (azul) y para su reconocimiento usaron el *Detecter de Colores Parlante COLORINO* (<http://cidat.once.es/home.cfm?excepcion=52&idproducto=133&idseccion=11>) (Fig. 6B) y la aplicación de móvil

“COLOR ID” tanto para *Android* como para *iPhone* (<https://asociaciondoce.com/category/color-id-app-que-identifica-colores/>).

#### Brillo

Esta propiedad está relacionada directamente con la luz que incide sobre la superficie de un mineral (relación de la luz absorbida/reflejada) haciéndola completamente visual y dificultando, en principio, su enseñanza hacia personas con ceguera. Además de ser una propiedad que requiere la visión para su percepción, hay descritos una gran variedad de tipos de brillo (Klein y Hurlbut, 1996) agrupados en metálicos, submetálicos y no metálicos. Entendiendo estas circunstancias como dificultades, durante el diseño del taller nos centramos en cómo enseñar a reconocer dos de los brillos más “comunes” en los minerales, el vítreo (dentro de los no metálicos) y el metálico. Para el aprendizaje por parte de los alumnos hicimos de esta propiedad visual una propiedad perceptiva auditiva usando un diapason La-440 (Fig. 6C). Esta herramienta metálica, que consta de un pequeño mango y dos ramas en U (en forma de horquilla), se utiliza como referencia para la afinación de instrumentos musicales y las propiedades vibratorias dependen exclusivamente de la forma y del material utilizado. En nuestro caso, y con el objetivo de intentar diferenciar el brillo vítreo del metálico en los minerales, nos propusimos primero “educar” el oído. Golpeamos las dos ramas de la U que comenzaron a vibrar y se puso el mango en contacto con un objeto (sostenido en la mano) metálico (tijeras/placa) pudiéndose percibir las ondas sonoras generadas; a continuación, se repitió lo mismo, pero con un objeto vítreo (sólido de cristal/vaso).

Una vez los alumnos discernieron lo metálico de lo vítreo con el diapason (en términos generales, concluyeron que el objeto metálico emitía un “sonido” más grave que el vítreo), se pasó a la práctica con minerales con brillo metálico (pirita y galena) y vítreo (cuarzo y calcita variedad espato de Islandia).

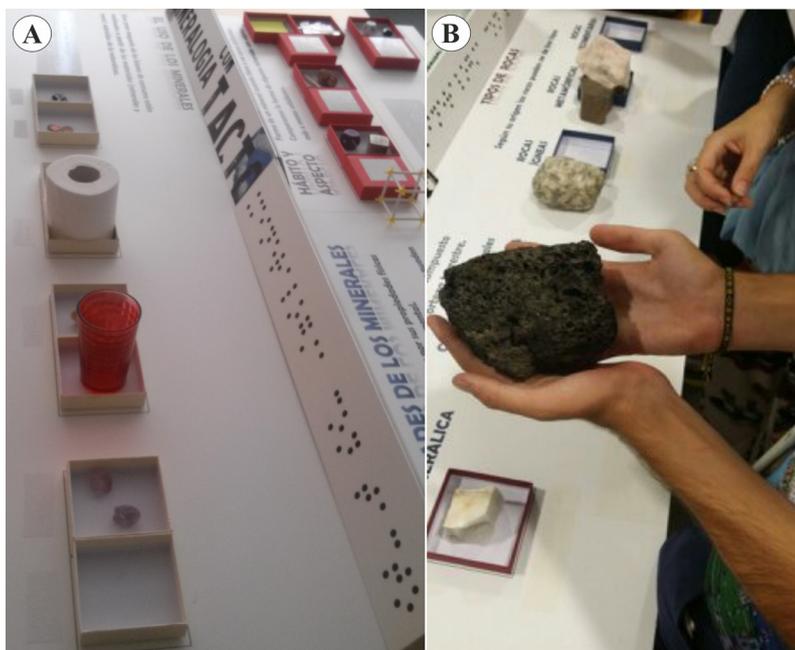


Fig. 7. A. Detalle de minerales y objetos cotidianos como explicación al uso de los minerales. B. Detalle de la manipulación de una ejemplar de roca volcánica (lava).

### El uso de los minerales

Una gran mayoría de los bienes de consumo (objetos cotidianos) están realizados a partir de los minerales y rocas extraídos de la naturaleza. Para el entendimiento de esta idea, se dispusieron en el panel una serie de minerales junto a objetos conocidos o de uso más o menos cotidiano por los alumnos (Fig. 7A): cobre nativo/céntimos de euro, caolinita/papel higiénico, cuarzo/vaso de vidrio, fluorita/pasta dentífrica.

### Y AHORA TOCA... LA ROCA

Por último, se enseñó a los alumnos que las rocas vienen a ser sólidos heterogéneos compuestos por uno o varios minerales, es decir, rocas monominerálicas (se puso de ejemplo al mármol) o poliminerálicas (p. ej. un conglomerado). Pudieron comprobar al tacto algunos aspectos (Fig. 7B) de los diferentes tipos de rocas: una lava (roca volcánica) de aspecto muy rugoso y ligera, un granito (roca plutónica) con un tamaño notable de los cristales, una pizarra (roca metamórfica) de aspecto suave y formada por "láminas planas" y una calcarenita (roca sedimentaria) con fragmentos de conchas fósiles bien diferenciables. Esta parte del taller se planteó como antesala a otro proyecto que, en un futuro próximo, se pretende diseñar de manera adaptada y donde se aborde en profundidad las rocas y su ciclo geológico.

### RESULTADOS

Tras finalizar la actividad, se realizó una puesta en común por parte de los discentes. En esta, expusieron uno a uno su apreciación sobre el desarrollo del taller-exposición, que fue positiva y reconociendo "haber aprendido de manera distinta a la que habitualmente se les ofrece en el aula o clase tradicional de los institutos". La implicación por parte de ellos fue muy alta lo que facilitó la enseñanza de los profesores. Igualmente, resaltaron

que la actividad les resultó una experiencia personalizada, amena y dinámica gracias a la adaptación del material, disposición del taller-exposición en escenarios distintos y separados, con dos profesores en cada uno y que fueran repartidos en grupos reducidos y con suficiente tiempo para la completa manipulación y percepción del material expositivo. Igualmente, la valoración realizada por los docentes del CRE de la ONCE ha resultado muy satisfactoria para esta primera experiencia pionera en Andalucía de enseñanza-aprendizaje de la mineralogía para estudiantes de secundaria con diversidad funcional visual.

El hecho de trabajar los minerales ordenados desde la perspectiva de los sentidos les ha resultado beneficioso para la asimilación de conceptos y, en general, para entender la importancia que tienen en el entorno que les/nos rodea. Las propiedades de los minerales trabajadas desde los sentidos del tacto, gusto y olfato no representaron dificultades por parte de los discentes a la hora del aprendizaje. Como se ha indicado en el apartado anterior, existen otras propiedades, como el color y el brillo, que son completamente visuales y, por consiguiente, con una dificultad añadida para ser detectada por personas con diversidad funcional visual. En nuestra actividad, la propiedad del color se solventó con el uso de aparatos tecnológicos (colorímetro y la app de móvil *Color ID*) y para el brillo (metálico o vítreo) el recurso fue un diapason, usándose como se detalla en el apartado correspondiente a esta propiedad. En este caso particular, el resultado fue muy positivo pues 9 de los 12 alumnos reconocieron en todos los casos de qué tipo de brillo se trataba; el resto tuvieron un solo error achacándolos al sonido ambiente del aula. Aunque no se detalle en este artículo, esta experiencia se llevó igualmente a cabo en un taller realizado a posteriori con docentes adscritos a la ONCE y a la Junta de Andalucía, obteniéndose resultados similares. Pensamos que, en condiciones adecuadas y depurando mejor la técnica, esta experiencia podría servir de herramienta a emplear en los centros académicos para enseñar a diferenciar parte de esta propiedad en los minerales a estudiantes con diversidad funcional visual.

Por último, con el objetivo de comprobar si el aprendizaje fue significativo, desde el CRE se realizó una encuesta general de satisfacción sobre los contenidos trabajados durante el taller; obteniéndose en todas las respuestas una valoración máxima de 10 sobre 12 puntos. Por otra parte, los docentes del CRE firmantes de este artículo (M<sup>a</sup> Valle Durán y M<sup>a</sup> José Narváez) que participaron en todo el desarrollo metodológico y de ejecución del taller hicieron una valoración interna para la ONCE, calificando a la actividad como enriquecedora, bien estructurada, con un diseño bien adaptado y un discurso científico didáctico y ameno; concluyendo que se va continuar con este tipo de experiencias de divulgación científica inclusiva, particularmente de la Geología, en aulas donde haya tanto discentes con diversidad visual como sin ella. Desde el Área de Cristalografía y Mineralogía de la US y el CRE de Sevilla de la ONCE, partiendo de los beneficiosos resultados obtenidos de esta primera actividad para estudiantes con diversidad funcional

visual, se está trabajando en la planificación de actividades con otras temáticas geológicas (ej. Paleontología, Petrología, Tectónica) y a desarrollar en los cursos venideros.

## CONCLUSIONES

La comprensión de la Tierra, su origen, estructura, funcionamiento, composición, recursos y el uso de estos, ha de ser compartida por y para toda la Sociedad, con la finalidad de que esta alcance una plena y adecuada alfabetización de las Ciencias de la Tierra, así como sus beneficios. Conseguir este objetivo conlleva incidir en normalizar acciones (divulgativas, docentes, investigativas) inclusivas para que esa alfabetización sea dirigida hacia sectores de la Sociedad más deficitarios, por ejemplo, personas con diversidad funcional. Actividades novedosas en formato como el Taller-Exposición “Mineralogía con Tacto” realizado para discentes con diversidad funcional visual, vienen a demostrar que es perfectamente factible, por parte de ellos, asentar conocimientos y asimilar otros nuevos relacionados con la materia mineral bajo metodologías adecuadas. Del mismo modo, para los docentes y alumnos el éxito del taller, desde el punto de vista del binomio enseñanza-aprendizaje, radicó en la comprometida preparación y adaptación de los contenidos, la actitud participativa de los discentes y la implicación del personal docente e instituciones.

## AGRADECIMIENTOS

Proyecto financiado por el VI Plan Propio de Investigación y Transferencia de la Universidad de Sevilla. Los autores agradecen las facilidades ofrecidas por la dirección del Centro de Recursos Educativos de la ONCE en Sevilla, al Museo de Geología de la US; así como al decanato de la Facultad de Ciencias de la Educación de la US. Los autores agradecen la revisión realizada por Dña. Alejandra García-Frank (Universidad Complutense de Madrid), D. Juan Carlos Fernández Caliani (Univ. de Huelva), D. Emilio Galán Huertos (Museo de Geología de la Univ. de Sevilla) y D. Zain Belaústegui Barahona (Universidad de Barcelona), cuyas observaciones han permitido mejorar este trabajo.

## BIBLIOGRAFÍA

Bybee, R. (1997). *Towards an Understanding of Scientific Literacy*. En Graeber, W. & Bolte, C. (Eds) *Scientific Literacy*. Kiel. IPN.

Fesharaki, O., García-Frank, A., Iglesias Álvarez, N., Gómez-Heras, M., Martín-Perea, D. y Rico, D. (2016). Diseño universal y materiales multisensoriales en las actividades de divulgación de Geodivulgar con la asociación Ciencia sin Barreras. *Geo-Temas*, 16.1., 729-732.

García-Frank, A. y Gómez-Heras, M. (2016). Hacia una ciencia accesible. *Web Madri+d*: [http://www.madrimasd.org/informacionIdi/analisis/analisis/analisis.asp?id=65443&origen=notiweb\\_suplemento&dia\\_suplemento=martes&seccion=analisis%28martes%29](http://www.madrimasd.org/informacionIdi/analisis/analisis/analisis.asp?id=65443&origen=notiweb_suplemento&dia_suplemento=martes&seccion=analisis%28martes%29)

García-Frank, A., Pérez Barroso, R., Espín Forjan, B., Benito Manjón, P., De Pablo Gutiérrez, L., Gómez-Heras, M., N. Sarmiento, G., Canales Fernández, M.L., González Acebrón, L., Muñoz García, M.B., García Hernández, R., Hontecillas, D., Ureta Gil, M.S. y del Moral, B. (2014). Divulgación de la Geología: nuevas estrategias educativas para alumnos con necesidades educativas especiales por discapacidad intelectual. *El CSIC en la escuela: investigación sobre la enseñanza de la ciencia en el aula*, 10, 56-67.

Gómez-Heras, M., Gonzalo, L., García-Frank, A., sarmiento, G.N., González, L., Muñoz, M.B., García, R., Hontecillas, D., Ureta, S. y Canales, M.L. (2014). Geología para sordociegos: una experiencia multisensorial para la divulgación de la ciencia. *El CSIC en la escuela: investigación sobre la enseñanza de la ciencia en el aula*, 10, 45-55.

Herrero, S., Hernández, J. P., Rodríguez, J. M. F., Jiménez, M. G., y Martínez, A. A. (2017) ConCiencia inclusiva: talleres experimentales de crecimiento de cristales como herramienta pedagógica inclusiva. *Boletín de la Real Sociedad española de Historia Natural, Sección Aula*, 4, 5-13.

Hontecillas, D., García Hernández, R., Iglesias Álvarez, N., Gonzalo Parra, L., García-Frank, A., Gómez-Heras, M., Fesharaki, O., Sarmiento, G. N., González, L., Muñoz, M.B., Ureta, M.S. y Canales, M.L. (2015). “¡Se toca pero no se mira!”: experiencia multisensorial para la divulgación de la geología para personas con sordoceguera. XIII Encuentro de Jóvenes Investigadores en Paleontología. En: Domingo, L., Domingo, M.S., Fesharaki, O., García Yelo, B., Gómez Cano, A.R., Hernández-Ballarín, V., Hontecillas, D., Cantalapiedra, J.L., López Guerrero, P., Oliver, A., Pelegrín, J., Pérez de los Ríos, M., Ríos, M., Sanisidro, O. & Valenciano, A. (editors) *Current trends in Paleontology and evolution*, XIII EJP Conference Proceedings, 151-153.

Iglesias, N., Fesharaki, O. y García-Frank, A. (2015a). ¿Qué marca la diferencia?: valoración preliminar de varios talleres de paleontología. En: *Libro de Resúmenes de la I Jornada de Divulgación Científica Inclusiva* (A. García-Frank, ed.). Universidad Complutense de Madrid, Madrid, 19- 21.

Iglesias, N., Fesharaki, O., García-Frank, A., González Acebrón, L., Rico, R., Salazar Ramírez, R.W., Sacristán, S., Martín Perea, D., Hontecillas, D., García Hernández, R., Gómez-Heras, M., Sarmiento, G.N., Muñoz García, M.B., Ureta Gil, M.S., Canales Fernández, M.L. y del Moral, B. (2015b). Dejando huella: divulgación paleontológica para personas con diversidad funcional. En: *Current Trends in Paleontology and Evolution* (Eds.: L. Domingo et al.). XIII Encuentro de Jóvenes Investigadores en Paleontología, Cercedilla, Madrid, 154-162.

Instituto de Tecnologías Educativas (Ministerio de Educación, Gobierno de España) (2017). Educación Inclusiva: Personas con discapacidad visual. <http://www.ite.educacion.es/formacion/materiales/129/cd/indice.htm>

Klein, C. y Hurlbut, C. S. (1996). *Manual de Mineralogía*, 4ª ed. Ed. Reverté, 2 Vols. 679 pp.

López-Acevedo, M.V., González, J. C. C., y López, J. G. (2011a). Forma y simetría. Enseñanza adaptada a personas ciegas a través de los modelos cristalográficos. *REDUCA (Geología)*, 3(2), 56 pp.

López-Acevedo, M.V., González, J. C. C., López, J. G., y Cid, A. L. H. (2011b). Forma y simetría en la naturaleza. Enseñanza adaptada a personas ciegas a través de métodos cristalográficos. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 19(2), 186-191.

Lucerga, R. (1993). Palmo a palmo. La motricidad fina y la conducta adaptativa a los objetos en los niños ciegos. Madrid: ONCE.

National Research Council (1996). *National Science Education Standards*. Washington: National Academy Press. [http://www.nap.edu/catalog.php?record\\_id=4962](http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=4962)

Navalpotro, T., Berrocal, M., De la Fuente Olmos, D., Gonzalo Parra, L. y Fesharakí, O. (2015). "Sí se puede" hacer una actividad de paleontología con personas con sordoceguera. En: *Libro de Resúmenes de la I Jornada de Divulgación Científica Inclusiva* (A. García-Frank, ed.), 4-6.

Organización Mundial de la Salud y Grupo del Banco Mundial (2011). Informe Mundial sobre la Discapacidad. [http://www.who.int/disabilities/world\\_report/2011/es/](http://www.who.int/disabilities/world_report/2011/es/)

Organización Nacional de Ciegos Españoles (2017). Discapacidad Visual. <http://www.once.es/new/servicios-especializados-en-discapacidad-visual>

Organización de Naciones Unidas (1966). La Declaración Universal de Derechos Humanos. <http://www.un.org/es/universal-declaration-human-rights/>

Pedrinaci, E., Alcalde, S., Alfaro, P., Almodóvar, G.R., Barrera, J.L., Belmonte, A., Brusi, D., Calonge, A., Cardona,

V., Crespo-Blanc, A., Feixas, J.C., Fernández-Martínez, E., González-Díez, A., Jiménez-Millán, J., López-Ruiz, J., Mata-Perelló, J.M., Pascual, J.A., Quintanilla, L., Rábano, I., Rebollo, L., Rodrigo, A. y Roquero, E. (2013). Alfabetización en Ciencias de la Tierra. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 21.2, 117-129.

Pedrinaci, E. (2014). La Geología en la Educación Secundaria: situación actual y perspectivas. *Macla*, 14, 32-37.

Rodrigo, A. (2017). Actividades para público con diversidad funcional en el Museo Geominero (IGME). *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural. Sección aula, museos y colecciones*, (4), 21-28. ■

*Este artículo fue solicitado desde E.C.T. el día 18 de marzo y aceptado definitivamente para su publicación el 16 de junio de 2018*