



MASTERPROF UMH
UNIVERSITAS *Miguel Hernández*

MÁSTER UNIVERSITARIO EN FORMACIÓN DEL PROFESORADO
ESO Y BACHILLERATO, FP Y ENSEÑANZAS DE IDIOMAS

TRABAJO FIN DE MÁSTER
**HERRAMIENTAS
MANIPULATIVAS EN
LA ENSEÑANZA DE
LA GEOLOGÍA**

Estudiante: Verónica E. Muñoz Chacón
Especialidad: Biología y Geología
Tutor/a: Ernesto García Sánchez
Curso académico: 2023-24



ÍNDICE

1. Resumen y palabras clave	3
2. Introducción.....	4
3. Revisión bibliográfica	5
4. Propuesta	13
A. Minerales a la carta	13
B. Investigando la porosidad.....	15
C. Explorando la Geodinámica	17
5. Discusión y conclusiones	20
6. Referencias	21
7. Anexos	23
Anexo 1. Juego de cartas para identificar minerales (actividad 1).....	23
Anexo 2. Guion de laboratorio para experimentar porosidad (actividad 2) ...	24
Anexo 3. Instrucciones maqueta paisaje (actividad 3)	25
Anexo 4. Rúbrica actividad 2	26



1. Resumen y palabras clave

El uso de herramientas manipulativas en la enseñanza secundaria es una práctica común en ámbitos como la biología. Sin embargo, en la enseñanza de la geología su empleo no es tan frecuente, debido, por una parte, a la menor representación que tiene la geología en los saberes básicos que se requieren en secundaria, y por otra, a la complejidad de la tierra y sus procesos, y la escasa especialización de los docentes en esta materia, lo que supone una preparación extra para poder llevarlos a cabo. Si a todo ello le sumamos la corta duración de las clases y la falta de recursos tanto de los docentes como de los centros educativos, su implementación resulta complicada. Por ello, este trabajo pretende recopilar herramientas utilizadas a lo largo de los años, destacando las ventajas para el aprendizaje de la geología, como son la motivación y la mejora en la asimilación de conceptos, reflejando también las dificultades encontradas durante su implementación. Finalmente, se proponen una serie de actividades para emplear en geología que, como destacan los autores revisados en este trabajo, requieren pocos recursos y escaso tiempo de preparación, siendo una excelente herramienta para el aula.

Palabras clave: didáctica de la geología, motivación, curiosidad, recursos didácticos, actividades prácticas, experimentos

The use of manipulative tools in secondary school is a common practice in areas such as Biology. However, in the teaching of geology their use is less frequent, due, on the one hand, to the lower representation of Geology in the basic knowledge required in secondary school, and on the other hand, to the complexity of the earth and its processes, and the limited specialization of teachers in this subject, which means more time and effort is required to apply manipulatives tools successfully. On top of this, classes tend to be short, and resources are scarce for both teachers and schools, which leads to an even more difficult implementation. This paper aims to compile manipulative tools that have been used over the years in Geology, highlighting the advantages in teaching, motivating and improving the assimilation of concepts, as well as reflecting on the difficulties encountered during their implementation. In the end, a series of activities are proposed which, as the authors reviewed here highlight, require few resources and time preparation, becoming excellent tools in the classroom.

Key words: geology didactics, motivation, curiosity, didactic resources, hands-on activities, experiments



2. Introducción

En la actualidad, motivar al alumnado durante las clases es una tarea complicada para el profesorado, por lo que encontrar herramientas para estimular su afán por aprender es un gran reto al que se enfrentan.

Si nos centramos en el ámbito de la geología, se ha visto que las herramientas manipulativas fomentan esa motivación y les ayudan a asimilar los conocimientos de una forma eficaz, pero debido a la complejidad de la tierra y sus procesos, es difícil la realización de actividades prácticas directas en el aula. Al realizar una revisión bibliográfica de este tipo de herramientas, vemos que los diferentes proyectos que se han llevado a cabo a lo largo de los años suelen abarcar 3 temáticas muy repetidas, los volcanes, las fallas y el sistema solar. Este tipo de herramientas promueven el desarrollo de habilidades prácticas y fomentan la curiosidad por la ciencia, por lo que los profesores de todos los niveles educativos pueden encontrar en estas herramientas una forma de mejorar la experiencia de aprendizaje en el aula de geología.

Con este trabajo se pretende recopilar y caracterizar diferentes herramientas manipulativas que se han ido empleando a lo largo de los años en la asignatura de geología en la educación secundaria obligatoria, y valorar las dificultades detectadas para implementar estas herramientas en la enseñanza de la geología, así como diseñar una serie de actividades manipulativas que se puedan aplicar en la asignatura de biología y geología.

3. Revisión bibliográfica

Al comenzar la búsqueda bibliográfica, uno de los primeros estudios encontrados es el de Fernández, M. V. (1985), que llevó a cabo una serie de experimentos en EGB (Enseñanza General Básica) durante 4 años. En su trabajo nos comentaba que realizar actividades manipulativas permite fomentar el aprendizaje interdisciplinar, haciendo que desarrollen la capacidad de observación, manipulación, trabajo en equipo, y fomentando el amor y respeto por la naturaleza. Una de las cosas que remarca a la hora de diseñar actividades manipulativas es seleccionar materiales asequibles, como pueden ser arcilla, cartón, plastilina, poliespán, corcho, pinturas... Las actividades que empleó fueron la elaboración de unidades de relieve como montañas, depresiones y valles, empleando de base la construcción de un mapa topográfico con corcho. Otra de las actividades relacionada con el mapa topográfico fue la elaboración de una maqueta a escala. Por otro lado, para el estudio del paisaje, proponía la elaboración de diferentes tipos de paisaje empleando materiales como arcilla para modelar elementos físicos, arena fina para simular desierto, hielo para paisaje glacial..., además de incluir elementos biológicos característicos de cada paisaje. Esta actividad recomienda acompañarla de salidas de campo, para poder visualizar en persona diferentes formaciones geológicas. Además, añade explicaciones de las características biológicas, geográficas y humanas en función del clima que caracteriza cada paisaje. A la hora de abordar los pliegues y fallas, emplea plastilina y un aparato para simular las condiciones de formación. Por último, emplea actividades para estudiar el proceso de sedimentación en un medio acuoso y un medio terrestre para poder observar las capas que se forman, qué materiales se depositaron primero y la simulación de los efectos del transporte por el viento y el agua; para ello utilizó una regadera y un secador de pelo, empleando también objetos que obstaculizaban los flujos de agua y aire. En su estudio concluyó que la participación y el entusiasmo mostrado por los participantes fue de lo más satisfactorio, centrándose las actividades en la observación directa del entorno mediante salidas organizadas al campo, adecuando las actividades para la comprensión de los fenómenos naturales.

Unos años más tarde, Carrillo, L. (1996), afirmaba en su trabajo que la naturaleza y el gran número de variables que actúan en los procesos geológicos, restringen las posibilidades de diseñar experiencias reales, por lo que se deben utilizar modelos que permitan explicar fenómenos extrapolables. Nos decía que, para llevar a cabo este tipo de actividades, se requiere elaborar numerosos recursos con diseños específicos, lo que lleva asociado habilidades prácticas, tiempo y/o medios económicos para su elaboración. Si bien es cierto que la situación que comenta la autora con respecto a lo que se podía encontrar en los libros y materiales curriculares que disponía el profesorado en los años 90 ha cambiado considerablemente, este marco ha dado un gran avance, ya que en la actualidad se les facilita a los docentes un gran número de recursos didácticos, bien por las propias editoriales o por el propio centro, para poder ajustarse a la adquisición de las competencias que marca la LOMLOE. En su artículo nos

enumera los objetivos que los docentes atribuyen a los trabajos prácticos, como son objetivos de tipo emocional, los relacionados con el conocimiento vivencial de los fenómenos que se estudian, los relacionados con el conocimiento del entorno que les rodea, los relativos a una mejor comprensión de conceptos, los relacionados con el desarrollo de habilidades prácticas e intelectuales, los relacionados con fomentar la curiosidad, imaginación... y los de tipo actitudinal; aunque algunos autores comentan que con un único trabajo práctico no se pueden abordar todos ellos. Es por ello que la autora realiza una clasificación de diferentes trabajos prácticos que se pueden llevar a cabo, dividiéndolos en: experiencias, experimentos, ejercicios e investigaciones, proponiendo ejemplos para cada uno de ellos.

En la misma línea que Carrillo, L. (1996), Sequeiros, L., et al. (1996) realizaba un estudio sobre la enseñanza del tiempo geológico mediante simulaciones, ya que como bien nos decía, “el aprendizaje de la geología demanda el planteamiento de actividades acerca de cada uno de los subconceptos que lo integran y de las relaciones entre ellos”. La percepción de la geología requiere que dispongamos de “imágenes mentales” de los acontecimientos geológicos, y su aprendizaje, como comentaban Sequeiros, L. et al., “no responde a la ley del -todo o nada- sino que, afortunadamente, permite diversos niveles de aproximación”. En esta misma publicación también plantean utilizar las catástrofes naturales para mostrar los cambios más drásticos que suceden en menos tiempo y que pueden servir para que se entiendan mejor ciertos procesos.

Casi al mismo tiempo encontramos el estudio de Román, T. et al (1997), que nos habla sobre herramientas manipulativas. En su trabajo trata tres experimentos enfocados a diferentes niveles de educación, en los que se realizan maquetas que permiten estudiar la disposición y geometría de las estructuras tectónicas. Por un lado nos define el experimento que Riedel desarrolló en 1929. Para ello se utilizan bandejas y arcilla y el estudiantado puede llegar a reconocer las distintas estructuras que aparecen y el orden secuencial una vez formadas, conociendo a su vez cómo influyen las distintas variables del modelo. Aplicando diferentes espesores de la capa con arcilla, que simula la cobertera, junto a variaciones en las condiciones de humedad, se pueden comparar los resultados obtenidos por diferentes grupos. Otro caso estudiado es el experimento de caja de arena, que está basado en las deformaciones que sufren los materiales de la corteza terrestre según Mattauer (1976). Según este autor se observa en superficie la aparición y evolución de la traza de las distintas estructuras, así como la generación del relieve. Y por último, el experimento de Simón Gómez (1988), que, a pesar de haber sido diseñada con fines de investigación, al ser sencillo y claro en el proceso, ha sido considerada una herramienta didáctica muy válida. En este último experimento se simula la deformación que aparece en la cobertera, asociada al desarrollo de un domo con el empleo de un globo, observando las fracturas que aparecen variando las condiciones de inflado y forma del globo sobre el que se extiende una capa de arcilla.

Es un hecho constatado por el profesorado de Enseñanza Secundaria, que buena parte del estudiantado carece del interés y la motivación necesaria para aprender (Tapia, J. A., 1999). La atención del grupo a una explicación del proceso de realización de una tarea, viene determinada inicialmente por la curiosidad que despierta y por la percepción de su relevancia. Si encuentran la tarea aburrida o no entienden su propósito, tienden a buscar rápidamente maneras de evitar hacerla. Esto es algo común en la escuela secundaria y refleja la falta de interés. (Tapia, J. A., 1999).

Por otro lado, además de trabajar con herramientas manipulativas, autores como Moreira, J., et al. (2002) proponen la realización de trabajos de campo junto a este tipo de actividades. En su trabajo propone una salida de campo, en la que se trabaja antes y después de la excursión, haciendo uso de un cuaderno de campo. En la organización y construcción de los materiales, se tiene en cuenta la utilización de recursos variados como laboratorio, aula, campo, bibliografía y materiales específicos del área de las Geociencias. Para la salida de campo, se establecieron las paradas teniendo en cuenta que estuviesen enlazadas entre ellas con un sentido de los acontecimientos geológicos. Además, se realizaron actividades de manipulación y lectura de cartas topográficas y geológicas, junto al uso de una brújula, sesiones de debate, y el trabajo de laboratorio para realizar secuencias sedimentarias. A la hora de realizar este tipo de actividades, los autores comentan que las cuestiones deben ir de lo menos abstracto a lo más complejo, ya que analizaron que el alumnado se sintió incómodo al no saber manejarse con este tipo de metodología empleada y tuvieron dificultades en la realización de las actividades propuestas. Por otro lado, reconocieron que con este tipo de actividades consiguieron conectar sus conocimientos antes, durante y después de la salida, estando muy contentos con el resultado final.

Otro tipo de trabajos que emplean métodos más innovadores, son el uso de las TIC para laboratorios virtuales. Tal y como estudió Morcillo, J. G., et al. (2006), las TIC que permiten la interacción, pueden ayudarle a aprender procedimientos, y los laboratorios, que ya en los 2000 empezaban a generar interés y expectativas, podían ser simulados de esta manera, sin requerir de tanto espacio, tiempo ni peligrosidad. En su estudio nos habla de las ventajas de los laboratorios virtuales, como pueden ser la resolución de problemas de equipamiento e infraestructuras, ya que no todos los centros disponen de material suficiente; permiten recrear procesos y fenómenos difíciles de reproducir en un laboratorio presencial; contribuye a la educación a distancia, favoreciendo el autoaprendizaje; desarrollo en los estudiantes del uso de las TIC, hecho relevante a tener en cuenta con la actual ley de educación, la LOMLOE, que nos habla de la competencia digital; y en general, la estimulación de aprender e investigar. Al realizar simulaciones que permiten interacción, pueden entender mejor los sistemas y procesos explorando por él mismo, y también se suelen complementar con el uso de gafas de realidad virtual. Estos autores muestran el laboratorio virtual “los terremotos”, y aprovechan los desastres naturales

acontecidos en los últimos tiempos para generar debate, y así trabajarlos con la ayuda de estas simulaciones. Con este programa pueden realizar observaciones y tomar mediciones, localizando el epicentro y determinando la magnitud del terremoto. Una de las ventajas de este tipo de programas es que se puede utilizar en cualquier momento y desde cualquier ubicación con acceso a internet.

Por otro lado, un estudio realizado por Flores, J., et al. (2009) analiza el lado opuesto al uso de herramientas experimentales, haciendo una revisión de las décadas de los años 60 y 70 con respecto al trabajo en el laboratorio. En este trabajo se comentan los diferentes problemas que se han ido viendo con respecto a trabajar de forma manipulativa en el laboratorio, apuntando que los objetivos de una metodología y otra no llegaban a ser los mismos. El trabajo concluye indicando que el laboratorio nos da la oportunidad de integrar aspectos conceptuales y procedimentales dentro de enfoques alternativos, que pueden permitir el aprendizaje con una visión diferente, abordando la resolución de problemas con la que estarían más involucrados con los procesos de la ciencia y alejarse de la concepción errónea del mal denominado y concebido "método científico". Por último, se argumenta que "un cambio en nuestra práctica docente en el laboratorio debe implicar esfuerzos orientados a nuevas experiencias en las que se amerita ajustar tiempo, recursos, contenidos didácticos y actitudes para darle al laboratorio el lugar que reclama en el aprendizaje de la ciencia".

Unos años más tarde, en línea con lo que comentaba Flores, J., et al (2009), autores como López, A. M. y Tamayo, O. E. (2012) también comentaban que la práctica llevada a cabo en laboratorio, debe ser bien estudiada para poder aprovecharla al máximo, y no sólo conseguir objetivos conceptuales, sino también procedimentales y actitudinales. En su estudio encuestaron tanto a alumnado como a profesorado, y la mayoría de experimentos que realizaban, se basaban en seguir un guión, por lo que no se desarrollaban todas las posibilidades que una actividad experimental puede ofrecer. Otra anotación que hace es sobre los obstáculos que interfieren en este tipo de actividades, como son la falta de materiales, espacios adecuados, limitación del tiempo, grupos de alumnos muy numerosos, y la falta de motivación tanto del alumnado como del docente.

Si revisamos las actividades manipulativas que más se llevan a cabo en los centros, vemos que entre ellas se puede destacar la "elaboración de un volcán", ya que esto facilita a estudiantes y profesorado entender ciertos conceptos como el del movimiento del manto (Murray, J., 2014) al poder experimentarlo en el aula. De dicho experimento hay multitud de variables, desde el uso de vinagre y bicarbonato, del que hablaremos más adelante, o con cera, arena y agua como experimenta Murray, J. (2014). Para llevar a cabo su actividad, necesitaríamos 25 minutos y pocos materiales, por lo que es una buena opción para hacer en el aula y ver la simulación de una colada de lava. En él, la arena y el agua representan capas de la corteza terrestre, mientras que la cera representa el manto superior. La cera sube a la superficie y genera unos tubos que simulan coladas de lava.

Ese mismo año, García-Frank, A., et al. (2014) demostró cómo la realización de actividades manipulativas con ACNEE (Alumnos Con Necesidades Educativas Especiales), como la simulación de una excavación paleontológica, la maqueta de un embalse con plastilina y la identificación de rocas con pequeños fragmentos, les ayudó a estimular la imaginación, desarrollar o potenciar la idea de conservación y generar expectativas de nuevos conocimientos. La dificultad que se comenta en este trabajo, es el hecho de que este tipo de actividades es más sencillo llevarlas a cabo desde una universidad, ya que se dispone de un mayor número de recursos materiales y humanos, puesto que, para llevar a cabo estas actividades, además de la preparación previa, para ejecutarlo se requiere mayor número de material geológico y colaboración de personal cualificado para poder ir ajustándose a cada ritmo y necesidades.

Por otro lado, Couso, D. (2015) nos hablaba de la innovación didáctica en la ciencia, al decir que emplear actividades indagatorias en las que se encuentran motivados, es gracias a la aplicación de actividades que llevan a cabo ellos mismos. En su trabajo critica la simplicidad empleada en algunas actividades experimentales que se llevan a cabo, al limitar la enseñanza a la realización de experimentos demasiado sencillos, empleando materiales caseros, en un tiempo prudencial y con trabajo autónomo, lo que hace que los contenidos sean más reducidos, e incluso enseñándose elementos erróneos al no explicar todas las posibles variables a tener en cuenta. Lo que la autora pretende transmitir con su estudio, es que a la hora de decidir qué tipo de actividad vamos a llevar a cabo, se debe definir bien qué debemos enseñar y la metodología que vamos a emplear. Un aspecto que menciona muy importante, es la formación del profesorado en cuanto a la enseñanza de las ciencias como práctica científica y, conseguir variedad de propuestas centradas en la modelización. Es por ello que nos comenta que el tipo de actividad indagatoria no debe ser la mayoritaria en la enseñanza, pero sí que debe ser empleada de forma conjunta para así conseguir despertar el interés.

Como bien recoge la autora Jiménez, A. (2016) en su trabajo fin de máster, este tipo de tareas conlleva un sobreesfuerzo por parte del profesorado, ya que en actividades manipulativas, como las tareas de investigación que ella plantea en su proyecto, requieren de una planificación muy detallada para poder abordarlas correctamente. En su propuesta, lleva a cabo una serie de actividades que engloban tectónica de placas, el ciclo de las rocas (rocas sedimentarias), los fósiles, las eras geológicas y el tiempo geológico, teniendo en cuenta los conocimientos previos para poder ajustar la teoría antes de empezar con el proyecto de investigación y el laboratorio. En ella, divide el proyecto en 4 fases, en las que interviene la manipulación de rocas al microscopio para identificar los principales minerales que las forman, diferenciar los componentes inorgánicos de los fósiles y estudiar la textura de las rocas para entender las condiciones de transporte y depósito de dichos componentes con la ayuda de guías. Una conclusión interesante que hace esta autora es que, con esta propuesta, se

pretende que aprendan geología de una forma diferente a la que habitualmente se les enseña en los centros de secundaria, en los cuales las prácticas de campo y de laboratorio son prácticamente inexistentes. Además, comenta que la ausencia de prácticas se puede ver favorecida por el miedo que produce su preparación en un alto porcentaje de los profesores que imparten esta materia, que en su mayoría suelen ser biólogos o veterinarios con conocimientos básicos en geología.

Tal y como nos mostraba Villar, I. (2017), los trabajos manipulativos tienen un gran potencial en la enseñanza, gracias al refuerzo que suponen en el aula y a la comprensión de los contenidos. Tras la revisión que llevó a cabo, concluye que algunos autores han encontrado dificultades a la hora de llevar a cabo actividades manipulativas con el hecho de que no reconocían el papel de cada objeto en el modelo que se desarrollaba, por lo que tomar tiempo en la explicación de para qué sirve cada herramienta, definiendo muy bien el objetivo final, es algo fundamental a la hora de aprovechar al máximo la realización de este tipo de actividades.

En un trabajo realizado por Llistó, P. (2017), analizó mediante encuesta a diferentes cursos de la ESO cómo les resultaba aprender a través de una metodología práctica, concluyendo que obtenían un mayor rendimiento, y que este tipo de trabajos les ayuda a asimilar y comprender mejor ciertos conceptos y contenidos. En su trabajo llevó a cabo diferentes actividades, entre ellas, el uso de simulaciones para comprender fenómenos como terremotos y volcanes; una sesión en el laboratorio para simular un volcán (Murray, J., 2014) identificando qué representa cada material que se ha introducido en el vaso de precipitados y haciendo predicciones sobre lo que ocurriría al calentarlo, además de diseñar su propio volcán con la ayuda de un guión a seguir. Con estos trabajos prácticos, que combinan experiencias, experimentos ilustrativos, ejercicios prácticos e investigaciones, se desarrollan actitudes del trabajo experimental y adquieren un gran grado de autonomía, iniciativa y responsabilidad.

Si hablamos de innovación didáctica, destacamos el trabajo realizado por Ibáñez de Garayo, A. (2018), en el que diseña una propuesta para bachillerato, trabajando la geología mediante un software gratuito (Visible Geology), que permite la modelización en tres dimensiones mediante bloques diagramas. Es una herramienta de ayuda al desarrollo de la visión en 3D, una de las barreras importantes en la didáctica de esta ciencia. Este programa permite modelar la topografía añadir formaciones geológicas, incluyendo fallas... de una manera fácil y visual. El uso de estos modelos permite una mejor comprensión de los procesos y fenómenos geológicos que, como se comentó anteriormente, suelen ser difíciles de asimilar. Como bien comenta el autor, el uso de los modelos en Geología es más bien reducido, empleándose más frecuentemente en asignaturas como física y química y matemáticas, y destaca que utilizar este tipo de metodología en los considerados nativos digitales, les permitirá comprender mejor los conceptos relacionados con los cortes geológicos y la geología. Además, remarca que es importante esa motivación extra que se genera al

obtener resultados inmediatos, y que la plataforma online sea la herramienta de trabajo. Algunos inconvenientes a tener en cuenta con el uso de las TIC, serían las infraestructuras, como puede ser un aula de informática adecuadamente dotada, el desarrollo de un guión para poder seguir la práctica en todo momento, y la formación del docente, algo primordial para que este tipo de actividades funcionen.

Otro tipo de actividades, como sería el uso de modelos físicos analógicos, nos lo muestra Pardo-Igúzquiza, E. (2019b) con el modelo de Riedel modificado, que puede ser empleado en el aula al ser sencillos y ayudar a introducir conceptos de geología importantes de una forma más atractiva y asimilable. Además, al implicarlos en su construcción y desarrollo, se consigue fomentar el interés, curiosidad y espíritu crítico a la hora de interpretar los resultados. El autor comenta que los modelos analógicos permiten reproducir, a escala de laboratorio, procesos naturales que suceden en largos periodos de tiempo, pero que deben ser dimensionados, así como sustituir rocas por materiales seleccionados en función de sus propiedades, para poder deformarlos a velocidades mayores y utilizando esfuerzos menores. En su trabajo, él no lleva a cabo el dimensionamiento, si no que ha priorizado que los materiales sean accesibles y económicos, connotación importante si queremos realizar esta práctica con el, frecuentemente, escaso presupuesto con el que suelen contar los departamentos de biología y geología de los centros de educación secundaria para realizar actividades prácticas en laboratorio y campo. El autor introduce materiales alternativos como la escayola, la harina y el cacao. Otro material, el talco, es el que permite obtener estructuras de mayor detalle mientras que la harina ha permitido generar estructuras interesantes. Este mismo autor, también lleva a cabo un estudio sobre aprender geología interactuando con los datos topográficos de “Mars Global Surveyor”, que permite recopilar un banco de imágenes, pudiendo identificar entre otras cosas, diferentes tipos de cráteres. Pardo-Igúzquiza E. (2019a) concluye su estudio comentando que este tipo de actividad fomenta la curiosidad y el interés por la geología.

Guerra, S. (2020) en su trabajo fin de grado, nos habla de cómo introducir el concepto del planeta Tierra en la educación infantil, que aunque sea diseñado para un nivel didáctico inferior al expuesto durante esta revisión, es interesante analizar la metodología empleada, pudiéndose adaptar a un nivel superior si incluimos una mayor dificultad en ciertas tareas. En esta propuesta se diseña una unidad didáctica para trabajar la ciencia en edades tempranas, y para ello hace uso de, entre otros, un taller de las rocas, en el que con la ayuda de un profesor de biología y geología, se van estudiando distintas rocas, identificando el color, dureza y textura, realizando observaciones a diferentes escalas, para lo que se requerirá de la ayuda de lupas. Una vez identificadas, se hace un dibujo de la roca estudiada, indicando sus características con pegatinas, formando un mural con todas ellas. Otra actividad que propone es la visualización previa de un video de la Tierra y su estructura, y posteriormente la realización de modelos analógicos desmontables para simular la atmósfera y las partes internas del Planeta (corteza, manto y núcleo). Otras actividades que propone la autora se



centran en el estudio de la tectónica de placas adaptada a este nivel, o la elaboración de un volcán, empleando materiales fácilmente asequibles (arcilla, un plato de plástico, vinagre y bicarbonato). Muy interesante es también la actividad de construcción del mural de un paisaje lleno de basura, en el que se debe ir eliminando la basura del mural y depositando los desperdicios en el contenedor correspondiente; de esta forma se fomenta la importancia de reciclar y poder disfrutar del paisaje cuidando el medio ambiente poniéndolo en valor.

El trabajo más reciente evaluado (Robaina, S., 2021), valora la utilización de herramientas manipulativas, pero en este caso mediante la plataforma web “Mars Trek” desarrollada por la NASA (National Aeronautics and Space Administration), que consiste en la representación de datos topográficos interactivos para estudiar el relieve de Marte. En este trabajo, el autor concluye con que la enseñanza de la geología a través de la geología de Marte, aumenta el interés por esta ciencia, incrementándose cuando se combinan con metodologías activas. Cabe destacar la importancia actual del uso de las TIC y de su integración adecuada en las aulas.

Para finalizar con nuestra revisión, no podemos dejar de comentar otro tipo de herramientas que se van abriendo paso en la sociedad, y que también ayudan con la motivación en el aula y la asimilación de conceptos, las actividades de gamificación. Así pues, tal y como recoge Martínez (2021) en su estudio sobre la gamificación en el aula, tanto el profesorado como el alumnado obtuvieron una experiencia gratificante con el uso de diferentes herramientas como la realización de un scape room sobre el paleolítico, en la que van realizando diferentes pruebas hasta conseguir el objetivo, y con juegos como la palabra prohibida y kahoot, por lo que la unión de actividades manipulativas junto a la gamificación resulta una propuesta muy interesante a considerar.

4. Propuesta

El enfoque de este trabajo ha sido la aplicación de herramientas manipulativas en la asignatura de geología, con actividades que se pueden llevar a cabo de una forma sencilla, sin que suponga una preparación tediosa para el profesorado, ni suponga una jornada de tiempo excesiva, ya que la duración de las clases en secundaria es muy limitada. A continuación, se exponen las tres actividades desarrolladas en esta propuesta:

A. Minerales a la carta

Dentro de la unidad de la geosfera y los minerales, se procede a la realización de una práctica de laboratorio incorporando una forma diferente de seguir las pautas para la identificación de minerales con el uso de cartas.

Objetivos:

1. Familiarizarse con los diferentes minerales y sus características distintivas.
2. Enseñar varios métodos de identificación de minerales, como la observación de propiedades físicas (dureza, color, brillo y densidad), prueba de reactividad (efervescencia con ácido y magnetismo).
3. Fomentar el desarrollo de habilidades de observación detallada para identificar las características clave de cada mineral.
4. Promover la colaboración y el trabajo en equipo mientras participan en la actividad de laboratorio.
5. Permitir aplicar los conocimientos teóricos adquiridos en clase sobre los minerales en un entorno práctico y manipulativo.
6. Desarrollar la capacidad para analizar y evaluar diferentes características de los minerales para su identificación.

Al emplear las cartas como guión de prácticas, se pretende hacer que el proceso de aprendizaje sea más interactivo y divertido, así como incrementar su motivación.

Material necesario:

- Minerales
- Cartas para la identificación (anexo 1)
- Ácido clorhídrico
- Cúter

Desarrollo del experimento:

Tras la clase teórica exponiendo la clasificación de los diferentes grupos minerales, se procede al reparto de un juego de cartas (anexo 1) por parejas que servirá como guion para la identificación de los diferentes minerales. Para ello, deberán tocar, observar, gustar, rayar (ilustración 2) y hacer reaccionar con ácido clorhídrico (ilustración 1) en función de lo que vayan avanzando con las cartas.



Ilustración 1. Reacción con ácido *Ilustración 2. Prueba de dureza*

Evaluación:

- Se evaluará la capacidad para aplicar los métodos de identificación aprendidos, como la observación de propiedades físicas y pruebas de reactividad observando cómo emplean los métodos de manera efectiva para llegar a su correcta identificación.
- Además, se evaluará el comportamiento en el laboratorio con el debido cumplimiento de las normas y el correcto uso de los instrumentos, así como el trabajo en equipo.

Ventajas de la actividad:

Al involucrarles en la manipulación directa de los minerales, se les permite familiarizarse con su apariencia, textura y otras características físicas de manera práctica y tangible, lo que fomenta un enfoque activo para aprender sobre los minerales en lugar de simplemente escuchar o leer sobre ellos. Esta actividad requiere que observen detalladamente las propiedades físicas de los minerales y realicen pruebas de reactividad, lo que ayuda a desarrollar habilidades críticas de observación y análisis, fundamentales en la ciencia y la investigación. Además, al trabajar en parejas, tienen la oportunidad de colaborar y discutir mutuamente los resultados que van obteniendo, promoviendo el trabajo en equipo y el intercambio de ideas, reflejando así cómo se realizan proyectos científicos en entornos profesionales. La incorporación de un elemento lúdico, como el uso de cartas, hace que la actividad sea más interactiva y divertida para el alumnado, lo que puede aumentar su motivación y compromiso con el aprendizaje al estar más involucrado en el proceso. Por último, la evaluación no se centra únicamente en el conocimiento teórico, sino también en el comportamiento en el laboratorio y la capacidad para trabajar en equipo, proporcionando una evaluación más completa de sus habilidades y competencias.

B. Investigando la porosidad

Dentro de la unidad de la atmósfera y la hidrosfera, tras una breve explicación sobre el concepto de porosidad y porosidad efectiva, y su importancia en la distribución del agua en los materiales porosos, se procede a la elaboración del experimento en el laboratorio con la ayuda de un guión muy visual (De Miguel, A., et al., 2009)

Objetivos:

- Transmitir los conceptos de porosidad total y porosidad efectiva, y entender su diferencia.
- Proporcionar a los estudiantes la oportunidad de observar y comprender cómo el agua se distribuye y se mueve dentro de diferentes materiales porosos.
- Permitir a los estudiantes determinar qué materiales son más porosos observando la variación de la altura del agua en los diferentes recipientes.
- Fomentar la discusión entre los estudiantes para que razonen sobre el comportamiento del agua en función de los distintos materiales, formas y tamaños que componen los recipientes.
- Estimular la discusión entre los estudiantes para que reflexionen sobre los resultados del experimento y comprendan la importancia de la porosidad en la distribución del agua en los diferentes materiales geológicos y en la disponibilidad de agua para las plantas.

Materiales necesarios:

- Diferentes sustratos como pueden ser arcillas, gravas o sustrato orgánico.
- Botellas de agua vacías
- Plastilina
- Pajita
- Agua
- Guion de laboratorio (anexo 2)

Desarrollo del experimento:

1. Explicación detallada sobre cómo preparar los vasos de plástico, que incluye hacer un agujero en el lateral inferior de cada vaso, taponarlo con plastilina y llenar los vasos hasta una altura determinada con los materiales seleccionados (ilustración 3).
2. Verter un volumen conocido de agua en cada vaso, asegurándose de que sea el mismo volumen en todos los vasos.



Ilustración 1. Llenado de recipientes con sustratos

3. Observar y comparar la variación de la altura del agua en los diferentes vasos para determinar qué materiales son más porosos (aquellos en los que la altura de agua sea menor).

4. Perforar la plastilina en cada vaso e introducir una pajita para permitir la salida del agua. Medir el volumen del agua de salida para determinar el volumen de agua gravífica (fluye y no queda retenida) y calcular así la porosidad total y la porosidad efectiva de cada material (ilustración 4).



Ilustración 2. Salida de agua de los recipientes

Evaluación:

- Evaluar la presentación de los resultados asegurando que sean claros, organizados y coherentes (mediante una rúbrica anexo 4).
- Evaluar la capacidad para explicar la diferencia entre los conceptos de porosidad total y eficaz y su relevancia en el movimiento del agua en materiales porosos.
- Evaluar la capacidad para registrar correctamente parámetros físicos de medición, como la variación de la altura del agua en los diferentes vasos o medir con precisión el volumen de agua gravífica recogida.

Ventajas de la actividad:

Al llevar a cabo la actividad, pueden visualizar y experimentar directamente los conceptos de porosidad total y porosidad efectiva. Esto ayuda a convertir conceptos abstractos en algo tangible y comprensible. Además, les brinda la oportunidad de aplicar habilidades científicas prácticas, como la preparación de experimentos, la recopilación de datos y la interpretación de resultados. Esto fortalece su comprensión de los procesos científicos y su capacidad para realizar investigaciones. Por otro lado, la actividad fomenta la discusión sobre los resultados del experimento y la importancia de la porosidad en la distribución del agua en los diferentes materiales geológicos y en la disponibilidad de agua para las plantas, promoviendo la reflexión y el intercambio de ideas entre ellos.

C. Explorando la Geodinámica

Dentro de la unidad de la tierra y el paisaje, la clase se organizaría en grupos, cada uno de los cuales llevaría a cabo una maqueta para simular los procesos de sedimentación y erosión del suelo, empleando diferentes coberturas para poder comparar entre las propuestas de cada grupo (González, P., 2017).

Objetivos:

- Permitir identificar y comprender la acción de los diferentes agentes erosivos, como el agua y el viento, y cómo éstos modifican el relieve terrestre.
- Promover la participación activa en discusiones sobre los procesos geológicos y sus efectos en el paisaje, fomentando así el intercambio de ideas.
- Fomentar el pensamiento crítico al analizar los resultados del experimento y reflexionar sobre cómo los procesos de erosión y deposición afectan en la formación del paisaje.
- Ayudarles a comprender los factores que influyen en la deposición de sedimentos, como la velocidad del agua, la pendiente del terreno y la presencia de vegetación.
- Permitir aplicar los conceptos trabajados en el aula sobre geología y procesos geológicos externos a través de una experiencia práctica y manipulativa.

Materiales necesarios:

- Diferentes sustratos (tierra, grava, arena, rocas...)
- Plantas
- Secador
- Agua
- Guion de laboratorio (anexo 3)

Desarrollo del experimento:

1. Preparación de las bandejas (ilustración 5) llenar las bandejas con una capa de tierra, arena, grava y otros materiales sedimentarios para representar un paisaje.



Ilustración 3. Preparación bandeja

2. Recreación de un paisaje (ilustración 6) colocar los objetos que representan obstáculos (rocas, palos, bloques de construcción, etc.) en la bandeja para simular un terreno variado. También agregar elementos que representen vegetación en algunas áreas.



Ilustración 4. Recreación paisaje

3. Verter agua en un extremo de la bandeja para simular la acción de la lluvia o un cuerpo de agua. Observar cómo el agua fluye a lo largo del paisaje y cómo interactúa con los diferentes elementos.
4. Observar y registrar los cambios que ocurren en el paisaje debido a la acción del agua (ilustración 7). Medir la profundidad y la velocidad del agua en diferentes puntos de la bandeja y tomar notas sobre los efectos de la erosión.

5. Detener el flujo de agua y observar cómo se depositan los sedimentos en diferentes áreas del paisaje. Registrar dónde se acumulan los sedimentos y qué factores afectan a la deposición.



Ilustración 5. Vertido de agua

6. Después de completar el experimento, se analizan los resultados y se discute sobre los procesos de erosión y deposición que observaron. Deberá dedicarse un tiempo a discutir y reflexionar en grupo sobre cómo estos procesos afectan a la formación del paisaje en la naturaleza.

Evaluación:

- La evaluación se basa en la comprensión de los procesos de erosión y deposición, la capacidad para identificar los agentes erosivos y los factores que afectan a la deposición, el rigor en las observaciones y el registro de datos, así como la participación en la discusión y el análisis de los resultados.

Ventajas de la actividad:

Esta actividad les permite experimentar directamente con los procesos de erosión del suelo y sedimentación a través de la creación de una maqueta. Esta experiencia práctica facilita la comprensión de los conceptos al ver cómo se aplican en situaciones reales. Al analizar y reflexionar sobre los resultados del experimento, los estudiantes desarrollan habilidades de pensamiento crítico al examinar cómo los procesos de erosión y deposición afectan la formación del paisaje. Esto les permite entender la complejidad de los procesos geológicos y sus impactos en el medio ambiente. Además, se promueve la participación activa de los estudiantes en discusiones sobre procesos geológicos y sus efectos en el paisaje, fomentando el intercambio de ideas y el trabajo colaborativo, enriqueciendo así el aprendizaje a través del diálogo y la interacción entre compañeros.

5. Discusión y conclusiones

Si bien es cierto que desde los años 90 del siglo pasado se trabaja con herramientas manipulativas en la asignatura de biología y geología, tras una búsqueda exhaustiva de lo que se ha ido haciendo a lo largo de estos años, nos encontramos con que la mayoría de actividades están enfocadas a la biología, siendo más difícil innovar en geología en cuanto a recursos. Por ello, la mayoría de actividades manipulativas que se trabajan en el aula están relacionadas con volcanes, fallas y maquetas del sistema solar, ya que la complejidad que tienen la mayoría de los procesos geológicos dificulta el desarrollo de actividades manipulativas; la falta de especialización del profesorado en este ámbito es otro escollo adicional. La distribución de competencias en las diferentes leyes educativas que han ido sucediéndose a lo largo de los años, no han variado significativamente, primando claramente los saberes básicos de biología frente a los de geología. La actual ley de educación (LOMLOE) no ha cambiado esta situación, ya que puede comprobarse que tanto en 1º como en 3º de la ESO los saberes básicos de geología siguen estando relegados a una clara segunda posición. Sí es cierto que en 4º de la ESO es posible encontrar un mayor número de saberes básicos dedicados a la geología con respecto a los cursos inferiores. Por ello, los profesores se enfocan en su día a día en desarrollar situaciones de aprendizaje mediante actividades manipulativas en los bloques con mayor cantidad de saberes. Sin embargo, no disponen de tiempo para crear estas herramientas tan interesantes para la adquisición de conocimientos en los bloques de geología. Muchos autores destacan que realizar este tipo de actividades requiere un esfuerzo considerable de tiempo, lo cual a menudo resulta ser un obstáculo. Este esfuerzo no solo se refiere al tiempo de duración de las sesiones y la distribución de clases a lo largo de la semana, sino también al tiempo necesario para su preparación, lo que impide implementar este tipo de actividades en todas las unidades.

6. Referencias

- Carrillo, L. (1996). Los trabajos prácticos en geología: problemas, posibilidades y propuestas. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 4(2), 120-123.
- Couso, D. (2015). «La clau de tot plegat: la importància de "què" ensenyar a l'aula de ciències». *Ciències: revista del professorat de ciències de Primària i Secundària*, 29.
- De Miguel, A., Lado J. J., Martínez, V., Leal, M. y García, R. (2009). El ciclo hidrológico: experiencias prácticas para su comprensión. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 17(1), 78-85.
- Fernández, M. V. (1985). Técnicas didácticas para la enseñanza de la Geología en la EGB. *Revista pedagógica*, 1, 109-121.
- Flores, J., Caballero M.C. y Moreira, M. A. (2009). El laboratorio en la enseñanza de las ciencias: Una visión integral en este complejo ambiente de aprendizaje. *Revista de Investigación*, 33(68), 75-111.
- García-Frank, A., Barroso, R. P., Forjan, B. E., Manjón, P. B., Gutiérrez, L. de P., Gómez-Heras, M., Sarmiento, G. N., Fernández, M. a L. C., Acebrón, L. G., Muñoz-García, M. B., Hernández, R. G., Hontecillas, D., Gil, M. a S. U., y Moral, B. del. (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.
- González, P. (2017). *Propuesta didáctica fundamentada para la enseñanza del suelo en Educación Secundaria mediante indagación y trabajos prácticos*. [Trabajo fin de máster, Universidad de Granada]
- Guerra, S. (2020). *Volcanes y terremotos: Cómo introducir en educación infantil el concepto de la tierra como planeta dinámico*. [Trabajo fin de Grado, Universidad de Valladolid].
- Ibáñez de Garayo, A. (2018). *"Visible Geology": Una herramienta digital para el estudio de la estratigrafía en primero de Bachillerato*. [Trabajo fin de Máster, Universidad de Burgos.]
- Jiménez, A. (2016). *Propuesta Didáctica de Investigación Dirigida: lo que las rocas sedimentarias y los fósiles nos pueden decir sobre el pasado*. [Trabajo fin de máster, Universidad de Zaragoza].
- Llistó, P. (2017). *Los trabajos prácticos de la asignatura de Biología y Geología en las aulas de Secundaria* [Trabajo fin de máster, Universitat de les Illes Balears].
- López, A.M. y Tamayo O.E. (2012). Las prácticas de laboratorio en la enseñanza de las ciencias naturales. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos*, 1, 145-166.
- Martínez, M. P. y Novo, A. (2021). La gamificación en el aula de educación secundaria: análisis y orientación didáctica. *Trances*, 13(1): 15-37.
- Mattauer, M. (1976). *Las deformaciones de los materiales de la corteza terrestre*, 524. Ed. Omega. Barcelona.

- Morcillo, J.G., García, E., López, M. y Mejías, N.E. (2006). Los laboratorios virtuales en la enseñanza de las Ciencias de la Tierra: los terremotos. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 14, 150-156.
- Moreira, J., Praia, J. y Sofré Borges, F. (2002). La construcción de materiales didácticos en geología de campo: un estudio sobre alumnos de enseñanza secundaria. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 10(2), 185-192.
- Murray, J. (2014). De processos ignis amb cera i sorra, U. M. (n.d.). Un volcà al laboratori. Earthlearningidea.com. Retrieved April 3, 2024, from https://www.earthlearningidea.com/PDF/89_Catalan.pdf
- Nasa.gov.(N.d.). Retrieved May 19, 2024, from <https://trek.nasa.gov/mars/>
- Pardo-Igúzquiza, E. (2019a). 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), 163-171.
- Pardo-Igúzquiza, E. (2019b). Generación de una falla en dirección en el laboratorio como modelo analógico de una falla transformante continental. *Enseñanza de las ciencias de la Tierra*, 2385-3484, 38-47.
- Riedel, W. (1929). Zur mechanik geologischer Brucherscheinungen. *Centralblatt für Mineralogie, Geologie und Paläontologie*, 1929 (B), 354-368.
- Robaina, S. (2021). "Geo-Mars: Aprendiendo geología utilizando datos de las misiones espaciales a marte". [Trabajo fin de máster, Universidad de la Laguna.]
- Román, T., Arlegui, L. E., Cortés, Á. L., Liesa, C. L., y Gil, A. (1997). El uso de modelos experimentales en la enseñanza de Geología estructural (II): aplicación a la deformación discontinua. *Enseñanza de las ciencias de la tierra*, 5(3), 226-233.
- Sequeiros, L., Pedrinaci, E. y Berjillos, P. (1996). Cómo enseñar y aprender los significados del tiempo geológico: algunos ejemplos. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 4, 113-119.
- Simón, J.L., Seron, F.J. & Casas, A. M. (1988). Stress deflection and fracture development in a multidirectional extension regime, mathematical and experimental approach with field examples. *Annales Tectonicae*, II, 21-32.
- Tapia, J. A. (1999). Motivación y aprendizaje en la enseñanza secundaria. *Psicología de la instrucción: la enseñanza y el aprendizaje en la educación secundaria*, 105-140.
- Villar, I. (2017). *Potencial de la indagación manipulativa en la enseñanza actual de las ciencias*. [Trabajo fin de máster, Universitat Pompeu Fabra Barcelona].
- Visiblegeology.com (N.d.). Retrieved May 19, 2024, from <https://app.visiblegeology.com/>

No metálico o sin
brillo - coge una
carta verde

Se raya con vidrio
o metal
coge una carta
amarilla

Sabor salado

No sabor salado
Reacciona con HCl

No sabor salado
No reacciona con
HCl
Coge una carta
roja

Brillo metálico -
coge una carta azul

Se raya con la uña
coge una carta
rosa

Aspecto laminar
Coge una carta lila

No láminas
Coge una carta
naranja

Brillo vítreo

Color amarillo, en
cubos

Color negro

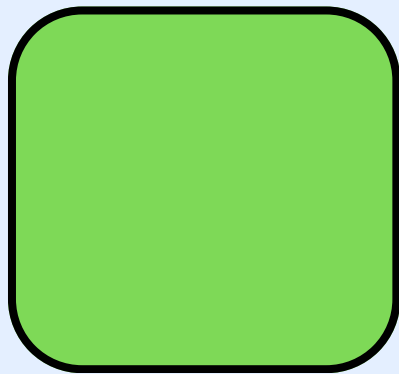
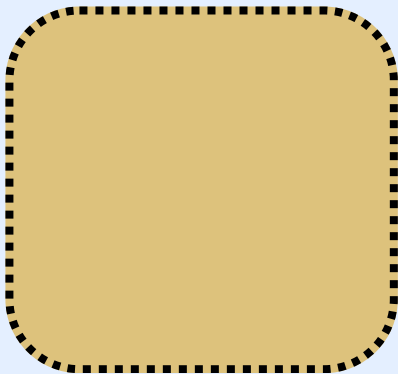
Color amarillo

Sin brillo

Color negro,
magnético

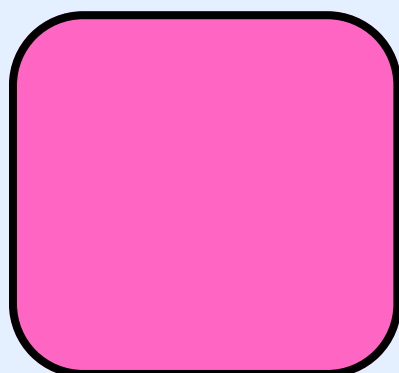
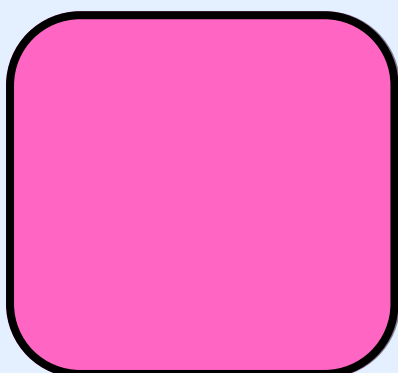
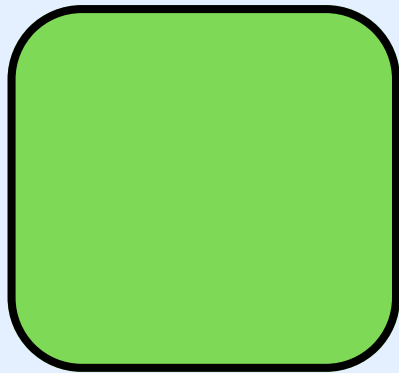
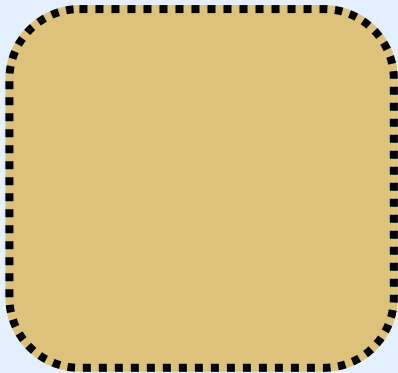
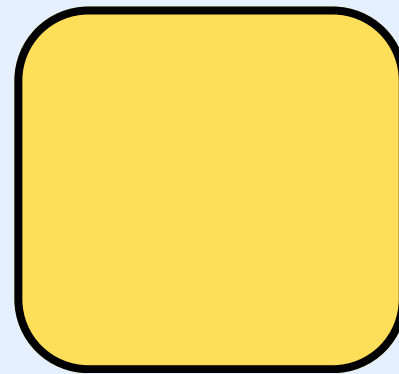
Color claro

Color blanco



HALITA

CALCITA



CUARZO

PIRITA

MICA

AZUFRE

ORTOSA

MAGNETITA

YESO

TALCO

INVESTIGANDO LA POROSIDAD

Distribución del agua en los materiales porosos

1. PREPARACIÓN DE LOS VASOS

Agujerear la botella, tapar con plastilina y llenar hasta una altura determinada con los materiales seleccionados.



2.

LLENADO:

Verter un volumen conocido de agua en cada recipiente.

3.

OBSERVAR:

La variación de la altura del agua.



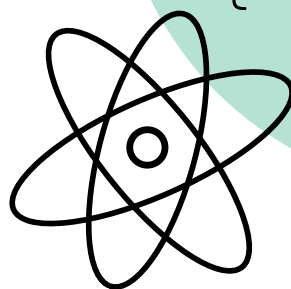
4.

COMPARAR:

Qué materiales son más porosos [altura del agua menor]

5. MEDICIÓN:

Perforar la plastilina en cada vaso e introducir una pajita para la salida del agua



6.

REGISTRO:

Medir el volumen del agua de salida [agua gravífica]



7. ESTIMACIÓN POROSIDAD TOTAL Y EFECTIVA

Nivel de agua en los recipientes
 Volumen de agua gravífica
 Volumen de agua capilar

EXPLORANDO LA GEODINÁMICA

PREPARACIÓN DE LAS BANDEJAS



Llena las bandejas con una capa de tierra, arena, grava y otros materiales sedimentarios para representar un paisaje.

CREACIÓN DE UN PAISAJE

Coloca los objetos que representan obstáculos (rocas, palos, bloques de construcción, etc.) en la bandeja para simular un terreno variado. También agrega elementos que representen vegetación en algunas áreas.



SIMULACIÓN DE LA EROSIÓN



Vierte agua en un extremo de la bandeja para simular la acción de la lluvia o un cuerpo de agua. Observa cómo el agua fluye a lo largo del paisaje y cómo interactúa con los diferentes elementos.

OBSERVACIÓN Y MEDICIÓN

Observar y registrar los cambios que ocurren en el paisaje debido a la acción del agua. Medir la profundidad y la velocidad del agua en diferentes puntos de la bandeja y tomar notas sobre los efectos de la erosión.



SIMULACIÓN DE LA DEPOSICIÓN



Detén el flujo de agua y observa cómo se depositan los sedimentos en diferentes áreas del paisaje. Registrar dónde se acumulan los sedimentos y qué factores afectan la deposición.

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

Analizar los resultados y discutir sobre los procesos de erosión y deposición observados. Reflexionar sobre cómo estos procesos afectan a la formación del paisaje en la naturaleza.

Anexo 4. Rúbrica actividad 2

Rúbrica práctica laboratorio "Investigando la Porosidad"

Categoría	4	3	2	1
Conceptos Científicos	El reporte representa un preciso y minucioso entendimiento de los conceptos científicos esenciales en el laboratorio.	El reporte representa un preciso entendimiento de la mayoría de los conceptos científicos esenciales en el laboratorio.	El reporte ilustra un entendimiento limitado de los conceptos científicos esenciales en el laboratorio.	El reporte representa un entendimiento incorrecto de los conceptos científicos esenciales en el laboratorio.
Hipótesis Experimental	La relación propuesta entre las variables y los resultados anticipados es clara y razonable basada en lo que ha sido estudiado.	La relación propuesta entre las variables y los resultados anticipados están razonablemente basada en el conocimiento general y en observaciones.	La relación propuesta entre las variables y los resultados anticipados ha sido expuesta, pero aparenta estar basada en una lógica defectuosa.	No se propuso una hipótesis.
Cálculos	Se muestran todos los cálculos y los resultados son correctos.	Se muestran algunos cálculos y los resultados son correctos.	Se muestran algunos cálculos y no todos los resultados son correctos.	No se muestra ningún cálculo.
Conclusión	La conclusión incluye los descubrimientos que apoyan la hipótesis, posibles fuentes de error y lo que se aprendió del experimento.	La conclusión incluye los descubrimientos que apoyan la hipótesis y lo que se aprendió del experimento.	La conclusión incluye lo que fue aprendido del experimento pero no las hipótesis que apoyan el experimento.	No hay conclusión incluida en el informe.