

Resolviendo un asesinato: una experiencia con la Geología Forense como estrategia de enseñanza-aprendizaje en la Educación Secundaria

Solving a case of murder: an experience with Forensic Geology as a teaching-learning strategy in Secondary Education

LEONOR CARRILLO¹, M^a ARÁNZAZU LUZÓN², M^a JOSÉ MAYAYO², ANA ROSA SORIA², ALFONSO YUSTE² Y ANDRÉS GIL²

¹ Vía Ibérica 29, 50012 Zaragoza. E-mail: carrillovigil@yahoo.es

² Dpto. Ciencias de la Tierra. Universidad de Zaragoza. Instituto de Ciencias Ambientales de Aragón (IUCA). c/Pedro Cerbuna 12, 50009 Zaragoza. E-mail: aluzon@unizar.es, mayayo@unizar.es, anasoria@unizar.es, alfon@unizar.es, agil@unizar.es

Resumen El trabajo se inspira en la Geología Forense como estrategia de enseñanza-aprendizaje de la Geología para ESO y Bachillerato. Se pretende proveer al profesorado de un recurso útil y estructurado, complementario para su tarea didáctica. Los objetivos generales se resumen en:

- 1) Fomentar la motivación hacia la Geología mostrándola como una ciencia capaz de resolver problemas que interesen al alumnado, en este caso por su similitud con series policíacas.
- 2) Incrementar la creatividad y el trabajo cooperativo de los estudiantes y su interés por el aprendizaje de la ciencia básica y sus métodos.

El proyecto está centrado en el alumnado y aporta una metodología basada en la enseñanza de las ciencias centrada en la indagación. Además, persigue la adquisición de la competencia “interpretar datos y pruebas científicamente”, buscando indicios o evidencias mediante dinámicas de *gamificación*, todo ello aplicable a otros campos de la ciencia. Para ello se utilizan un conjunto de destrezas como la observación de muestras geológicas a diferentes escalas (visu y microscopía) y el manejo de la brújula.

Es un modelo de experiencia sencillo de realizar, precisa de materiales de bajo coste, que se puede adaptar y aplicar en diferentes contextos académicos, científicos y sociales. Las características mencionadas han hecho a esta experiencia merecedora del Primer Premio del concurso “Ciencia en Acción” 2017 en la modalidad Laboratorio de Geología.

La actividad se ha realizado, durante este curso académico, en diferentes centros de secundaria aragoneses, lo que permite recomendar el repaso de algunos contenidos previamente a su desarrollo en el aula.

Palabras clave: Educación Secundaria, *gamificación*, Geología Forense, Olimpiada Geológica, recurso didáctico.

Abstract *The project is inspired by Forensic Geology as a Geology teaching and learning strategy for students of Secondary School in Spain (E.S.O. and Bachillerato). It provides teachers in charge of these levels with a useful and well-structured resource as a complementary tool for their didactic tasks. The main objectives are: 1) Motivating students towards Geology by presenting it as a science able to give answers to problems students are interested in, in this case for its similarity with crime series. 2) Increasing students' creativity and cooperative work and their interest in learning basic Science and its methods. We present a student-centred project; its methodology is based on Earth Sciences teaching, mainly focused on inquiry. One of the main objectives of the proposed activity is the acquisition of the skill “scientific interpretation of data and evidence” by searching for clues and evidence through gamification dynamics, all of which is applicable to other fields of Science. For these purposes skills such as the study of geological samples at different scales, or orientation and compass navigation are put to use. This experience is*

easy to put into practice, the materials needed are affordable and present in any school. It can be adapted to different scientific, social and academic contexts. By virtue of the above-mentioned characteristics this contribution deserved the First Prize in the Spanish state competition "Ciencia en Acción 2017" (Science in Action) in the Geology Lab section. This activity has been carried out, during this academic year, in different secondary schools in Aragon so we can recommend a revision of some contents prior to their implementation in the classroom.

Keywords: Secondary school, gamification, Forensic Geology, Earth Science Olympiad, resource for teaching.

INTRODUCCIÓN Y MARCO TEÓRICO

La Geología Forense puede utilizarse como una estrategia de enseñanza-aprendizaje innovadora y motivadora que acerca la Geología, haciéndola más atractiva, a estudiantes de Educación Secundaria (ESO y Bachillerato) y al profesorado que imparte dichos cursos.

CSI, Silent Witness y otras series de ficción, han puesto en relieve la importancia de la Ciencia en la investigación criminalística (Pirrie, 2009). Cuando se utiliza la palabra "forense", muchas personas recuerdan imágenes de TV en las que equipos científicos examinan un cadáver o una prueba para resolver un delito. Desafortunadamente, aunque especialistas en Geología colaboran en todo el mundo con policía, agencias de seguridad y medioambientales, y con organizaciones humanitarias para ayudar a esclarecer delitos, la aportación de la Geología ha tenido una escasa visualización. De manera sencilla, la Geología Forense se refiere a la aplicación del conocimiento geológico a problemas legales. Algunos ejemplos son asesinatos, secuestros, actuaciones ilegales en el ámbito de la minería, la ingeniería, la industria o el abastecimiento de agua, así como investigaciones en relación con desastres naturales. El objetivo es identificar, analizar y comparar materiales geológicos (suelos, rocas, minerales, sedimentos...), productos manufacturados con materias primas de carácter geológico, o estudiar escenarios en los que se ha podido producir un acto delictivo, utilizando para ello técnicas geológicas. No todos los delitos requieren las mismas técnicas, ya que las peculiaridades de cada caso condicionan un tipo u otro de muestreo, preservación de las muestras y análisis de datos. Ejemplos del uso de técnicas geológicas en la resolución de casos pueden encontrarse en Murray y Tedrow (1975), Murray (2004), Bowen *et al.* (2005), Pirrie (2009), Ruffel (2010), Ruffel *et al.* (2013), Di Magio *et al.* (2017).

Hay dos áreas en las que la Geología aporta datos en investigaciones criminales: 1) pruebas o rastros y 2) búsqueda y localización. La primera, en la que se fundamenta el trabajo que aquí se presenta, se basa en la ideas de Edmont Locard, que argumentó que un criminal no puede actuar sin dejar rastros de su presencia, ya que todo contacto deja una pista. Así, su "Principio del Intercambio" considera que cuando dos objetos entran en contacto, se transfiere

material del uno al otro. Por ello se analizan materiales identificados en un "receptor" (objeto, cadáver, sospechoso...) intentando determinar su origen. Por ejemplo, el criminal puede llevar en sus zapatos o ropa muestras del suelo de la escena del crimen. Con menos frecuencia, se trabaja con materiales robados o fragmentos de éstos que se comparan con el material robado.

Probablemente, el caso más antiguo documentado tiene como protagonista al profesor Ehreberg que analizó la arena que rellenaba unos barriles transportados por un tren prusiano que debían contener monedas de plata y que habían sido robadas durante el recorrido, siendo sustituidas por arena. El análisis de la arena del suelo de cada estación permitió determinar en cuál se había hecho el intercambio. Otros ejemplos antiguos son las historias de Arthur Conan Doyle y los casos criminales deducidos por Hans Gross o Georg Popp, entre otros, todos ellos estableciendo el estudio del suelo como habitual en investigaciones forenses.

La simulación de casos policiales de investigación criminal en los que se ven involucradas disciplinas científicas pueden ser un elemento motivador para los estudiantes a la hora de hacerles participar en la toma de decisiones sobre temas científicos que afectan a su vida diaria (Casanoves *et al.*, 2017). Este tipo de herramientas de aprendizaje combinan, por una parte, el uso de programas STSE (Science, Technology, Society and Environment) por sus siglas en inglés, basados en la utilización de contextos científicos y aplicaciones como medio para desarrollar el entendimiento científico. Por otra parte, utilizan la metodología educativa del aprendizaje basado en problemas (PBL, Problem-Based Learning), cuyos principios son la investigación, discusión en grupo y la adquisición de nuevo conocimiento que llevará a contestar las preguntas que resolverán el problema planteado (Carrió *et al.*, 2011).

En este contexto se puede incluir la utilización de la Geología Forense como herramienta para la enseñanza de las Ciencias de la Tierra. Como ejemplo cabe citar el taller desarrollado en la International School Science Fair 2013 (ISSF 2013) (Pirrie *et al.*, 2013). La ISSF fue creada como plataforma para que científicos en ciernes muestren su conocimiento y defiendan sus descubrimientos en un contexto no competitivo y colaborativo de ámbito intercultural. El mencionado taller tenía en consideración tres aspectos principales, alguno de los cuales muy rela-

cionado con la actividad presentada en este trabajo: “el Proyecto del Mapa Mundial de Suelos 2013”; un escenario de crimen simulado con ejercicios de recuperación y análisis de evidencias policiales; y la búsqueda por técnicas geofísicas de material enterrado como armas y otros objetos comúnmente usados en actividades criminales. Por lo tanto, la actividad planteada está diseñada de acuerdo a los paradigmas de aprendizaje experimental que sugieren que los estudiantes aprenden mejor cuando se les da la oportunidad de adquirir y aplicar conocimiento y habilidades en contextos reales y relevantes (Goodwin *et al.*, 2012).

Así, se presenta una propuesta didáctica basada en la resolución de un asesinato a partir del estudio de pistas y del análisis de pruebas de carácter geológico. El trabajo que se presenta fue diseñado y puesto en práctica por el equipo de docentes de la Universidad de Zaragoza y de Educación Secundaria de Zaragoza organizadores de la VIII Olimpiada Geológica de Aragón (febrero, 2017) (Fig. 1). La experiencia se desarrolló con éxito y fue acogida con gran entusiasmo tanto por los 65 chicos y chicas participantes, desde 4^º de ESO hasta 2^º de Bachillerato de diversos centros de la geografía aragonesa, como por los docentes responsables. Posteriormente, se presentó al concurso internacional *Ciencia en Acción* y, tras su preselección, se expuso presencialmente en Ermua (Vizcaya) los días 6 y 7 de octubre de 2017, resultando galardonado con el Primer Premio en la Modalidad Laboratorio de Geología.

La actividad se basa en una metodología de aprendizaje por experiencias, en la que se introducen herramientas propias de la ludificación o *gamificación*, como la obtención de puntuaciones, el límite de tiempo para obtenerlas, el reto, la competición, la adopción de roles o avatares... (Werbach y Hunter, 2012; Foncubierta y Rodríguez, 2015).

El juego es una necesidad para los niños, ya que mediante él aprenden a conocer el mundo que les rodea; así mismo, es un complemento fundamental para los adultos como seres pensantes y productores (García, 2016). No obstante, a medida

que los alumnos avanzan en su vida académica el juego deja de tener protagonismo en el proceso de enseñanza-aprendizaje con lo que se pierde una herramienta con un gran interés didáctico, muy valiosa en la educación científica que, en algunos casos, es difícilmente sustituible por otro tipo de actividades (Pujol, 2003; Abdul Jabbar y Felicia, 2016). La *gamificación* es una tendencia que parece estar consolidándose en los modelos didácticos actuales centrados en el estudiante (Deterding *et al.*, 2011; Fernandez, en línea; Oxford Analytica, 2016). La utilización de elementos de la naturaleza del juego como experiencia de aprendizaje puede ayudar a captar la atención, facilitar la memorización y retentiva en la adquisición de destrezas y conocimientos de los estudiantes, convirtiendo la acción de aprender en una actividad más experiencial (Quintanal, 2016).

En concreto, los estudiantes tienen que aplicar técnicas y conocimientos básicos de Geología (uso de la brújula, identificación de rocas de visu y de componentes de sedimentos con la lupa y un método de datación absoluta) a la resolución de un problema concreto, con lo que es a la vez lúdica y educativa, ya que los contenidos tratados son relevantes científicamente y posibilitan establecer relaciones con otros contenidos trabajados en el currículo (Pujol, 2003).

Es un modelo de experiencia fácil de realizar y adaptar, con materiales de bajo coste y accesibles en cualquier centro de enseñanza. Los materiales de la propuesta se incluyen en los anexos de este trabajo, junto a las soluciones e indicaciones didácticas para favorecer la tarea del profesorado a la hora de ponerlo en práctica. Asimismo, es aplicable en diferentes contextos académicos (Olimpiada de Geología, jornadas científicas, cursos para el profesorado), científicos y sociales.

El alumnado se entusiasma por su similitud con series policíacas, a la vez que se fomenta el trabajo cooperativo de chicos y chicas y su interés por el aprendizaje de ciencia básica y los métodos necesarios para su consecución. En este sentido,



Fig. 1. Imágenes de alumnos de secundaria ejecutando diferentes pruebas durante la realización de la Gymkana: Resolviendo un asesinato (VIII Olimpiada Geológica de Aragón; febrero, 2017).

pensamos que la actividad puede considerarse una buena propuesta para trabajar una de las subcompetencias de la competencia científica según el último marco PISA (OECD, 2017), en concreto: Interpretar datos y pruebas científicamente. Esta actividad aporta una metodología basada en la enseñanza de las ciencias centrada en la indagación, conocida como IBSE (Inquiry-based Science Education), por sus siglas en inglés, que incluye una variedad de estrategias de enseñanza-aprendizaje que el profesorado debe desarrollar para que el alumnado adquiera capacidades de indagación y sobre la indagación científica, así como para comprender y aprender conceptos científicos (Couso, 2014). A su vez, esta metodología, así entendida, está asociada a otras como el aprendizaje basado en problemas, o el aprendizaje por proyectos (Rocard, 2007). Por otra parte, creemos que la actividad puede constituir también un punto de partida en el que articular una enseñanza de las ciencias basada en prácticas científicas asociadas a la modelización y/o a la argumentación, prácticas que, como plantea Couso (2014), deberían tener tanta o más importancia que la indagación.

En la redacción del material que se propone se ha cuidado el uso de un lenguaje inclusivo desde la perspectiva de género, puesto que la visibilidad de las mujeres en la ciencia no es una cuestión intrasendente, y su importancia pedagógica es objeto de numerosos trabajos de investigación educativa (Subirats, 1994, Solbes *et al.*, 2007; Venegas, 2010).

Tabla 1. Conceptos y objetivos de aprendizaje que se trabajan con la experiencia.

PRUEBAS	CONCEPTOS	OBJETIVOS DE APRENDIZAJE
Comunes a toda la experiencia		<ul style="list-style-type: none"> - Resolver problemas a partir de las observaciones realizadas y los conocimientos teóricos previos, mediante búsqueda de pruebas, que es común a diversas ciencias y situaciones de la vida real, en este caso problemas judiciales: Geología Forense. - Elaborar explicaciones y conclusiones conjuntas entre los miembros del grupo (capacidad de trabajar en equipo y de aprendizaje entre iguales).
Prueba de Orientación	<ul style="list-style-type: none"> - Puntos cardinales - Rumbo y dirección - Escala de un mapa 	<ul style="list-style-type: none"> - Desarrollar la capacidad de orientación espacial mediante el uso combinado de una brújula y un mapa o imagen de satélite.
Laboratorio de Análisis de rocas	<ul style="list-style-type: none"> - Componentes minerales, características texturales y, en su caso, contenido fósil que caracterizan a los distintos tipos de rocas. - Criterios de clasificación de las rocas sedimentarias, metamórficas e ígneas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Observar, identificar y clasificar distintos ejemplares de roca y su ambiente petrogenético a partir de sus conocimientos teórico-prácticos a escala macroscópica o de <i>visu</i>.
Laboratorio de Análisis de arenas	<ul style="list-style-type: none"> - La lupa binocular como instrumento óptico (oculares, aumentos, etc.) y sus usos. - Diferencia entre lupa binocular y microscopio. - Características mineralógicas de minerales comunes (color, hábito, etc.) - Principales grupos de animales con caparzones o exoesqueletos (bivalvos, gasterópodos, corales) cuyos fragmentos (bioclastos) suelen formar parte de algunas arenas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Conocer y manejar una lupa binocular. - Reconocer características minerales y otros elementos, por ejemplo fragmentos de conchas de origen orgánico, en muestras de arena, trabajando la escala microscópica. - Identificar minerales y algunos tipos de bioclastos frecuentes en muestras de arena de playas. - Comprender la importancia del cambio de escala en las observaciones: aprender a integrar los datos que nos aportan las observaciones a escala microscópica con los obtenidos a simple vista. - Relacionar las características de la arena observada con el área fuente de la que procede, lugar donde se ha generado y agente que la ha transportado.
Laboratorio de Datación	<ul style="list-style-type: none"> - El tiempo geológico: Cronología absoluta y relativa - Dendrocronología 	<ul style="list-style-type: none"> - Familiarizarse con el concepto "Tiempo en Geología" mediante analogías. - Comprender el uso de "relojes geológicos"

OBJETIVOS

La figura 2 muestra los objetivos generales de enseñanza de la experiencia. Los conceptos y objetivos de aprendizaje que se trabajan en cada una de las pruebas y en el conjunto de la actividad, se enumeran en la Tabla 1.

DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA DIDÁCTICA

Se trata de una propuesta que incluye conocimientos curriculares básicos de Geología dirigida a estudiantes de Educación Secundaria, desde 4º de ESO hasta 2º de Bachillerato, por entender que en

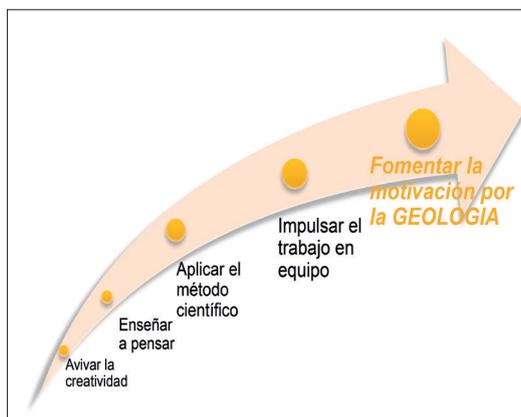


Fig. 2. Objetivos generales de la experiencia propuesta.

esos niveles ya han adquirido los conocimientos necesarios para abordar la actividad. Esta actividad se realiza en grupos para fomentar el trabajo colaborativo. Se centra en la resolución de un asesinato a partir del análisis de pruebas de carácter geológico y de las coartadas aportadas por los sospechosos. Se proporciona un guion que consiste en una secuencia de actividades diseñadas para que desarrollen una serie de competencias en el ámbito de la Geología y mediante las cuales se construye una historia.

El caso planteado propone la resolución de un asesinato que se ha producido en una playa de Tenerife. Para resolverlo, los participantes deben dirigirse a los distintos laboratorios de análisis (Análisis de Rocas, Análisis de Arenas y Datación). Además, con el fin de que los alumnos ejerciten habilidades asociadas al trabajo de campo (esencial en el haber geológico), se propone una prueba de orientación con brújula y fotos aéreas para acceder a los distintos laboratorios. En dichos laboratorios estudiarán las pruebas disponibles utilizando el material que se pone a su disposición en cada uno de ellos y deberán contestar a unas cuestiones cuyo análisis en conjunto les permitirá finalmente resolver el caso. En el Anexo 1 se muestran las 5 fichas utilizadas en la experiencia (fichas 1 a 5), si bien existe la posibilidad de reducir su número en función del número de participantes y de la temporalización de la experiencia. Se incorpora además una sexta ficha con la resolución y explicación final.

En esta actividad el profesorado puede adaptar fácilmente el modelo a su contexto educativo y a los recursos que posee, genera el escenario de aplicación (aulas, laboratorio, patio de recreo, etc.) y fomenta la participación de sus estudiantes. La temporalización de la experiencia puede realizarse de forma flexible llevándola a cabo en una única sesión de alrededor de una hora de duración, o de manera secuenciada en varias sesiones a lo largo del curso.

RECURSOS NECESARIOS

Material para el alumnado (material impreso)

Se trata de un guion que construye una historia por medio de una secuencia de experiencias diseñadas para sorprender a los estudiantes. Consta de 5 fichas impresas al servicio del proyecto. Las fichas 1 a 5 (ver Anexo 1) que se repartirían una a cada grupo, incluyen un espacio destinado a la identificación de los participantes (nombre del equipo, de las y los participantes, centro, aula, etc.). Las características de estas fichas son:

Ficha 1: Planteamiento del caso. Se describen los hechos y se presentan los personajes y la escena del crimen.

Ficha 2: Prueba de orientación. Se trata de localizar los diferentes laboratorios de investigación, donde se analizarán las pruebas, mediante el uso de una brújula y un mapa o imagen de satélite y que, en nuestro caso, se corresponde con el campus de la Universidad de Zaragoza. En la VIII Olimpiada Geológica de Aragón, se plantearon 3 itinerarios diferentes (de los que se muestra uno) para que los estudiantes no coincidieran en un mismo trayecto.

En esta ficha se destina un espacio para “sellos”, numerados del Lab.1 al Lab.4, que se marcan al llegar a cada uno de los laboratorios y el punto de entrega de material al final de la prueba. De este modo es posible evaluar posteriormente la prueba de orientación, determinando si se ha seguido correctamente el itinerario propuesto al grupo. Como ejemplo, los grupos que sigan el itinerario 1 han de presentar, en este orden, los sellos del Laboratorio de Análisis de Arenas (Lab.1) donde comenzaron trasladados por los organizadores, del Laboratorio de Datación (Lab.2), del Laboratorio de Análisis de Rocas (Lab.3) y del Punto de Entrega (Lab.4).

Obviamente, el material que se precisa en esta prueba, debe adaptarse a cada centro o lugar en la que se vaya a realizar la experiencia.

Ficha 3: Laboratorio de Análisis de Rocas. Se proporciona información sobre el ambiente petrográfico de la roca con la que se cometió el asesinato. Los estudiantes, a partir de la identificación y clasificación de las muestras de rocas sometidas a observación, deben ser capaces de determinar cuál de ellas se corresponde con el fragmento del arma del crimen encontrado en la cabeza del fallecido y poder valorar cuál de sospechosos ha podido tener acceso a un objeto construido con este material.

Ficha 4: Laboratorio Análisis de Arenas. Los estudiantes, a partir de la identificación de diferentes muestras de arena de playas con lupa binocular, deben de ser capaces de determinar qué sospechosos han estado en la playa o playas que presentan características iguales a las partículas adheridas al cabello que se encontró en la mano del cadáver.

Ficha 5: Laboratorio de Datación. Se utiliza un método de datación absoluta (dendrocronología) para analizar las coartadas temporales de los sospechosos, asimilando cada pareja de anillos con 10 minutos de duración, dato que deben deducir los estudiantes. Se recomienda al profesorado que la fotocopia para el Laboratorio de Datación (figura izquierda de la ficha 5) sea en color y al máximo tamaño posible.

Material para los laboratorios

Pequeña colección de rocas de visu, para el laboratorio de “Análisis de rocas”, por ejemplo granito, mármol y caliza. En la experiencia que se presenta, los ejemplares se eligieron en base a las rocas ornamentales que existen en el *hall* de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza, donde trabajaron los estudiantes de la VIII Olimpiada de Geología de Aragón.

Lupas binoculares o lupas de mano de 10 aumentos, en cantidad a determinar según número de participantes, así como muestras de arenas con diferentes componentes. Este material se precisa para resolver la prueba del laboratorio de “Análisis de arenas”.

Tocón real de un árbol o fotocopia de uno, necesario para resolver la prueba que aquí se denomina laboratorio de Datación (Ficha 5).

Material para el profesorado

A fin de facilitar la tarea docente y la familiarización con la experiencia del profesorado, en las fichas 1 a 5 para el alumnado (Anexo I) se suministran las

soluciones a cada una de las pruebas planteadas. En la ficha 6 se presenta una tabla de solución-explicación del caso en su conjunto.

IMPLEMENTACIÓN EN LAS AULAS

Un aspecto que es interesante destacar es el impacto de la experiencia en el estudiantado. La buena acogida que tuvo por parte del profesorado y el entusiasmo del alumnado al terminar la experiencia, nos animó a presentarla al concurso Ciencia en Acción 2017 donde, como hemos expuesto, fue galardonada con el primer premio en la categoría Laboratorio de Geología. Por otra parte, algunos profesores participantes en la VII Olimpiada de Geología nos solicitaron los materiales elaborados para adaptarlos al entorno de sus centros educativos, por lo que consideramos que el material que aquí presentamos puede resultar atractivo para aplicar la actividad en otros lugares del Estado español tanto en contextos de diseño curricular como en otros. De hecho, esta acogida nos ha llevado a incluir esta actividad, dentro del programa de conferencias y actividades que oferta anualmente el Departamento de Ciencias de la Tierra a los centros de Secundaria de Aragón.

La implementación de esta actividad en los centros de Secundaria se ha realizado ofertando una actividad de casi 2 horas (equivalente a dos clases). Durante los primeros 20-25 minutos se imparte una charla sobre qué es la Geología y cómo esta ciencia aporta múltiples aplicaciones como es en Geología Forense. Se comentan los orígenes de la disciplina, en qué se basa, las principales técnicas que se utilizan, exponiendo además algunos casos famosos que se han resuelto gracias a ella. Después de la charla se realiza el caso práctico, para el que se necesita alrededor de 40-50 minutos. Al terminar la actividad se resuelve conjuntamente el caso y las posibles dudas que hayan surgido. La actividad se ha realizado en un total de 6 centros, que era el cupo máximo ofertado.

Por cuestión de horarios y de número de estudiantes, en algunos centros la actividad la realizaron alumnos de 1º y 2º de Bachillerato, mientras que otros centros se incorporaron alumnos de 4º de ESO. El tamaño de grupos también fue muy diferente, oscilando entre los 10 y 52 alumnos según los centros.

Esta experiencia no se elaboró con un objetivo investigador, si bien su implementación en las aulas permite realizar algunas observaciones. Para la ejecución del caso práctico es necesario que los alumnos se repartan en grupos de 3 a 4 personas (no es recomendable que los grupos sean mayores) y que se disponga de dos o tres espacios diferentes para la realización de las pruebas. En este punto se requiere cierta flexibilidad, ya que la disposición de espacios dependerá de la casuística (aulas disponibles y horarios) del centro.

Por otro lado, la puesta en práctica de la actividad ha permitido detectar que algunos participantes, sobre todo de 4º de ESO, mostraron ciertas dificultades a la hora de clasificar rocas, identificar minerales y/o realizar observaciones con la lupa bi-

nocular. Probablemente ello es consecuencia de las escasas actividades prácticas que pueden realizarse durante la ESO en relación con la Geología, no tanto por falta de material en los centros (puesto que la mayoría sí que cuentan con el material imprescindible), sino por falta de tiempo para abordar el extenso temario de las asignaturas implicadas. En el otro extremo están los alumnos de Geología de 2º de Bachillerato, cuyas dificultades a la hora de resolver la prueba fueron escasas. En cualquier caso, en ocasiones se observó cierta dificultad para extrapolar durante la actividad práctica, cuestiones que han podido estudiarse en sesiones previas, especialmente si solo han sido clases de teoría, a muestras reales o distintas a las que han podido manejarse en cada centro. Ejemplos son la composición mineralógica de rocas y sedimentos, incluyendo identificación de minerales, o las características texturales de rocas y sedimentos. Por ello, se pone de manifiesto la necesidad de realizar al menos alguna sesión complementaria reforzando estas cuestiones, previamente al desarrollo de la actividad propuesta. No obstante es probable que estas dificultades hayan sido debidas a la presión y el estrés que conlleva una actividad competitiva y con tiempo limitado como es ésta.

Un aspecto complejo en la implementación de la experiencia en los centros de Secundaria es la prueba de orientación entre los distintos laboratorios, ya que es difícil disponer de planos del centro y de los espacios a utilizar con la suficiente antelación como para preparar la prueba. No obstante no se ha querido renunciar por completo a dicha prueba por entender que la orientación y el manejo de la brújula son esenciales en el trabajo de campo en Geología y, por cuestiones obvias de tiempo, suelen quedar fuera del proceso de aprendizaje en los centros de Secundaria. Así, siempre que la casuística lo permite, una vez que los alumnos han terminado la resolución de las pruebas y se ha corregido todo el ejercicio, se sale con ellos al patio. Se les reparte a cada alumno una brújula (que proceden de la colección que dispone el Departamento de Ciencias de la Tierra para los estudiantes de sus titulaciones) y se les explica qué es, en qué consiste, lo que se puede medir con ella, unos conceptos básicos de orientación; se les propone tres ejercicios sencillos para que los realicen y vean las dificultades que pueden conllevar y las intenten solventar.

Por otra parte, la posibilidad de realizar esta última prueba va a depender del número de alumnos que hagan la actividad y de su nivel educativo. Con un grupo de hasta 35-40 alumnos de Bachillerato hay tiempo suficiente para hacer toda la experiencia, incluido el ejercicio de brújula. Sin embargo cuando el número de alumnos es mayor y se incorporan alumnos de 4º de ESO no suele dar tiempo a trabajar con la brújula, porque el tiempo que se requiere para la resolución del caso práctico es, inevitablemente, mayor.

En estos centros se ha realizado una pequeña encuesta tanto a los profesores como a los alumnos (Fig. 3) con el fin de tener algún dato cuantitativo con el que valorar la actividad.

En total contestaron la encuesta 132 alumnos procedentes de tres centros. Al 59% de los alumnos les gustó mucho la actividad y al 41% bastante. El

Encuesta Satisfacción alumnos

Centro (IES/Colegio):

1 ¿Estás satisfecho con la actividad que has realizado?

Mucho Bastante No tanto En absoluto

2 ¿Esta actividad te ha permitido ver la geología de otro modo?

SI NO NS/NC

3 ¿Te habías imaginado que en los equipos de CSI trabajaban Geólogos?

SI NO NS/NC

4 ¿Crees que incorporar actividades prácticas a charlas os ayuda a entender la importancia de las ciencias en la sociedad?

SI NO NS/NC

5 ¿Qué laboratorio o actividad te ha gustado más?

Rocas Arenas Datación Brújula

6 ¿Qué laboratorio/s o actividad/es te han resultado más novedosos con respecto a lo que tu ya conocías?

Rocas Arenas Datación Brújula

7 ¿Como valorarías la actividad completa, de 1 (muy mala) a 10 (muy Buena)?

Encuesta Satisfacción Profesorado

Centro (IES/Colegio):

1 ¿Está satisfecho con la actividad que han realizado sus alumnos?

Mucho Bastante No tanto En absoluto

2 ¿Cree que esta actividad les ha permitido ver la geología de otro modo?

SI NO NS/NC

3 ¿Cree que incorporar actividades prácticas a charlas os ayuda a entender la importancia de las ciencias en la sociedad?

SI NO NS/NC

4 ¿Como valoraría la actividad completa, de 1 (muy mala) a 10 (muy Buena)?

Fig. 3. Encuesta realizada al profesorado y alumnos de los centros de secundaria en dónde se realizó la actividad.

81% consideró que esta actividad les permitió ver la Geología de otro modo (al 11 % sin embargo no, y el 8% NS/NC). Todos los alumnos valoraron muy positivamente incorporar actividades prácticas como complemento a las charlas. La nota media que ha obtenido la actividad según los alumnos es de un 8,7 (67 de los 129 alumnos que puntuaron este apartado la valoraron con una nota de 9 ó 10).

CONSIDERACIONES FINALES

A los alumnos se les plantea esta actividad de investigación policial, con el apoyo de la Geología Forense, en un tono muy realista; se les coloca en una situación y se les aportan pruebas de tipo geológico que podrían ser reales, y se les propone analizar los datos geológicos desde esa perspectiva. Quizás, en este contexto, el elemento que más podría sorprender es el uso de la dendrocronología con un código artificial, ya que en la actividad a desarrollar cada anillo del árbol equivale a 10 minutos y no a un año que sería su duración real. En Geología no existe un método de datación absoluta que pudiésemos utilizar en este contexto (con una precisión de horas) y por eso hemos utilizado la datación dendrocronológica como una analogía. Las analogías han contribuido a la construcción, desarrollo y posterior transmisión del conocimiento científico, por lo que se consideran fundamentales en el proceso de enseñanza-aprendizaje de las ciencias (Fernández *et al.*, 2004). El uso de analogías en Geología es relativamente frecuente y quizás la analogía más conocida, en relación con la escala de tiempo geológico, es reducir proporcionalmente la historia de la Tierra a un año, situando en los diferentes días del año los acontecimientos más importantes de esta historia.

En este contexto entendemos que la analogía que se presenta en esta actividad es adecuada, fundamentalmente por dos motivos: 1) porque permite relacionar coartadas temporales con métodos de datación absoluta, que es el objetivo en sí mismo de la prueba y 2) porque lo que también se pretende es que sea realizable con materiales de bajo coste,

disponibles en el entorno a aplicar o que se puedan adaptar fácilmente. En nuestro caso, unos dos meses antes de la Olimpiada de 2017, la Universidad procedió a la tala de varios pinos en muy mal estado en una zona ajardinada próxima al edificio del Dpto. de Ciencias de la Tierra, con lo cual se disponía de una amplia zona con varios tocones de pinos en la que situar este laboratorio. Entendemos que ésta es solo una propuesta y que también se podría solventar esta prueba con el uso de otro método de datación absoluta que el profesor estimase oportuno, como por ejemplo varvas glaciares o el calendario de mareas.

El desarrollo de esta actividad en centros de Educación Secundaria y de los datos obtenidos en las encuestas realizadas en estos centros, demuestra: i) que la actividad propuesta se valora de forma positiva por los estudiantes; ii) que éstos se involucran rápidamente en ella gracias a su similitud con casos desarrollados en series televisivas en las que los equipos forenses ocupan un papel importante, iii) les permite comprobar cómo conocimientos geológicos básicos son claves en la resolución de diferentes cuestiones criminalísticas y les muestra el importante abanico de aplicaciones que tienen las ciencias en general y la Geología en particular. Finalmente, la implementación en las aulas ha puesto de manifiesto la necesidad de recomendar el repaso de algunos contenidos previamente a su puesta en práctica.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo pertenecen a los Grupos de Investigación Geotransfer y Aragosaurus: Recursos geológicos y paleoambientes, cofinanciados por el Gobierno de Aragón y el Programa Operativo FEDER Aragón 2014-2020. Asimismo, deseamos agradecer el trabajo que cada año realizan diferentes colectivos del Dpto. de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Zaragoza (profesorado, estudiantes y personal de administración y servicios) para que el desarrollo de las pruebas que se plantean en el

marco de la Olimpiada sea posible. También agradecemos a José Luis Simón y un revisor anónimo las sugerencias y aportaciones que han realizado para la mejora de este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

Abdul Jabbar, A.I. y Felicia, P. (2015). Gameplay engagement and learning in game-based learning: A systematic review. *Review of Educational Research*, 85.4, 740-779.

Bowen, G.J., Wassenaar, L.I. y Hobson K.A. (2005). Global application of stable hydrogen and oxygen isotopes to wildlife forensics. *Oecologia*, 143, 337-348.

Carrió, M., Larramona, P., Banos, J.E. y Pérez, J. (2011). The Effectiveness of the Hybrid Problem-Based Learning Approach in the Teaching of Biology: A Comparison with Lecture-Based Learning. *Journal of Biological Education*, 45.4, 229-235.

Casanoves, M., Salvadó, Z, González, A., Valls, C. y Novo, M. T. (2017). Learning genetics through a scientific inquiry game. *Journal of Biological Education*, 51.2, 99-106.

Couso, D. (2014). *De la moda de "aprender indagando" a la indagación para modelizar: Una reflexión crítica*. En: Investigación y transferencia para una educación en ciencias: Un reto emocionante. En: 26 Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales (Coord.: M.A. de las Heras, A. Lorca, B. Vázquez, A. Wamba y R. Jiménez). Huelva, Spain: APICE, Universidad de Huelva, Universidad Internacional de Andalucía, 1-28.

Deterding, S., Dixon, D., Khaled, R. y Nacke, L. (2011). *From game design elements to gamefulness: defining "gamification"*. MindTrek'11 Proceedings of the 15th International Academic MindTrek Conference: Envisioning Future Media Environments, 9-15.

Di Maggio R.M. y 20 autores más (2017). Global developments in forensic geology. *Episodes*, 40.2, 120-131.

Fernández, I. (en línea). Juego serio: gamificación y aprendizaje. *Comunicación y Pedagogía*, 281-281. Gamificación. Disponible en: <http://www.centrocp.com/juego-serio-gamificacion-aprendizaje/>

Fernández, J., González, B.M. y Moreno, T. (2004). Consideraciones acerca de la investigación en analogías. *Estudios Fronterizos*, 5.9, 79-105

Foncubierta, J.M. y Rodríguez, Ch. (2015). *Didáctica de la gamificación en la clase de español*. Editorial Edinumen, 8 p. Disponible en: https://www.edinumen.es/spanish_challenge/gamificacion_didactica.pdf

García, L. (2016). El juego y otros principios pedagógicos. Supervivencia en la educación a distancia y virtual. RIED: *Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, 19.2, 9-23.

Goodwin, M, Kramera, C. y Cashmore, A. (2012). The "Ethics Committee": A Practical Approach to Introducing Bioethics and Ethical Thinking. *Journal of Biological Education*, 46.3, 188-192.

Murray, R. y Tedrow, J.C.F. (1975). *Forensic Geology: Earth Sciences and Criminal Investigation* (republished 1986). Rutgers University MT, 227 p.

Murray, R.C. (2004). *Evidence from the Earth: Forensic Geology and Criminal Investigation*. Mountain Press Publishing, Missoula, Press, New York, 240 p.

OECD (2017): *PISA 2015 Science Framework*. En: PISA 2015 Assessment and Analytical Framework: Science, Reading, Mathematic, Financial Literacy and Collaborative Problem Solving. OECD Publishing: Paris. Traducción al español descargado de: https://www.mecd.gob.es/inee/dam/jcr:61dd106f-9ec1-4bc6-95ad-177f1848096e/PISA2015_Marcos%20ESP.pdf.

Oxford Analytica (2016). *Gamification and the future of Education*. *World Government Summit* (<https://www.worldgovernmentsummit.org/api/publications/document?id=2bod6ac4-e97c-6578-b2f8-ff0000a7ddb6>)

Pirrie, D. (2009). Forensic geology in serious crime investigation. *Geology Today*, 25, 188-192.

Pirrie, D., Donnelly, L., Rollinson, G.K., Butcher, A.R., Dawson, L.A. y Pirrie, H.A. (2013). Forensic geology at the International School Science Fair 2013. *Geology Today*, 29.6, 222-228.

Pujol, R.M. (2003). *Didáctica de las ciencias en educación primaria*. Ed. Síntesis Educación, 352 p.

Quintanal, F. (2016). Aplicación de herramientas de gamificación en física y química de secundaria. Opción, Año 32, Especial nº 12, 327-348.

Rocard, Y. (2007). *Science Education Now*. Report EU22-845, European Commission, Brussels. Disponible on-line en: http://ec.europa.eu/research/science-society/document_library/pdf_06/report-rocard_on-science-education_en.pdf

Ruffel, A. (2010). Forensic pedology, forensic geology, forensic geoscience, geoforensics and soil forensics. *Forensic Science International*, 202, 9-12

Ruffel, A., Pirrie, D y Power, M.R. (2013). Issues and opportunities in urban forensic geology. *Geological Society, London, Special Publications*, 384, 147-161.

Solbes, J., Montserrat, R. y Furió, C. (2007). El desinterés del alumnado hacia el aprendizaje de la ciencia: implicaciones en su enseñanza. *Didáctica de las ciencias experimentales y sociales*, 21, 91-117.

Subirats, M. (1994). Conquistar la igualdad: la coeducación hoy. *Revista Iberoamericana de Educación*, N°6, 49-78.

Venegas, M. (2010). La igualdad de género en la escuela. *Revista de la Asociación de Sociología de la Educación (RASE)*, 3.3, 388-402.

Werbach, K. y Hunter, D. (2012). *For the Win: How Game Thinking Can Revolutionize Your Business*. Harrisburg: Wharton Digital Press, 150 p. ■

Este artículo fue recibido el día 3 de enero y aceptado definitivamente para su publicación el 12 de abril de 2018.

ANEXOS

Ficha 1. RESOLVIENDO UN ASESINATO: PLANTEAMIENTO DEL CASO

GRUPO Nº _____ EQUIPO DE INVESTIGACIÓN _____

Perteneces a un equipo de Geología Forense e impartes clases en la Universidad de La Laguna (Santa Cruz de Tenerife). El Departamento de homicidios de la policía del Cabildo de Tenerife, en cooperación con el Ministerio del Interior, solicita tu ayuda para resolver un caso. Se trata de un asesinato cometido la noche del 30 de diciembre de 2016. El fallecido, se llamaba Gonzalo Pangea, tenía 43 años, era muy rico y vivía en Zaragoza. Había llegado a Tenerife, junto con su amigo Jacinto Compostela, la misma mañana del asesinato. Hay varias pistas y tres personas sospechosas.

Descripción de la escena del crimen

El cuerpo se encontró en Playa Jardín, donde se alojaban (se incluye una fotografía), al norte de Tenerife, que tiene una escollera de roca volcánica. Presentaba un fuerte impacto en la cabeza y un mechón de pelo, probablemente del culpable, en su puño. Su compañero de viaje afirma que después de la cena el fallecido salió solo a dar un paseo por la playa en la que posteriormente se encontró su cadáver.

✓ Pistas de las que se dispone

- 1) En el impacto que el fallecido tenía en la cabeza se encontró incrustado un fragmento de roca.
- 2) El análisis del mechón de pelo que el fallecido llevaba en su puño ha revelado la presencia de diferentes partículas adheridas al cabello.
- 3) El equipo forense ha determinado por el estado del cuerpo que el crimen tuvo lugar a las 23:00.

Se sospecha de...

- **Jacinto Compostela**, amigo del fallecido, 42 años, vive en Cullera (Valencia). Viajó con el fallecido a Tenerife para pasar la Nochevieja. Nunca había estado antes en Canarias. En su bolso se encontró una figura de la Virgen del Pilar que siempre lleva consigo y está fabricada con una roca igual a la roca "A" de las que podrás observar en el "Laboratorio de Análisis de Rocas". Su estudio ha mostrado que le falta un fragmento que, según declara el sospechoso, se rompió en Zaragoza cuando se le cayó al suelo al ir a meterla en la maleta. Varios testigos confirman que Jacinto y Gonzalo estuvieron toda la tarde del día 30 de diciembre en Playa Jardín. Jacinto afirma que se fue a dormir solo sobre las 22:00 ó 22:30 y ya no salió de la habitación del hotel.

- **Luis Pangea**, hermano del fallecido, 39 años, vive con su novia en Fuerteventura, cerca del Parque Natural de Las dunas de Corralejo. A Luis le encanta la Geología y coleccionar rocas de allí a dónde viaja. De su último viaje se trajo un *souvenir*, un pisapapeles fabricado con una roca igual a la roca "B" de las que podrás observar en el "Laboratorio de Análisis de Rocas" y que ha desaparecido de su casa. Declara que la noche del 30 de diciembre estaba en Fuerteventura y que él y su novia, Gema Filón, viajaron a Tenerife el día 31 por la mañana para pasar allí la Nochevieja con Gonzalo y con Jacinto.

- **Esmeralda Karst**, 35 años, chef de un restaurante en Playa Bollullo. Algunos testigos afirman haberla visto discutir con el fallecido el 30 de diciembre a mediodía. Suele frecuentar la playa en la que se produjo el asesinato, así como las playas de Fuerteventura, de donde regresó la misma mañana del crimen. Su horario laboral es de 17:00 a 01:00 h. Sus compañeros indican que ha desaparecido de la cocina del restaurante un mortero fabricado con una roca igual a la roca "B" de las que podrás observar en el "Laboratorio de Análisis de Rocas".

✓ ¿Quién cometió el crimen?

Para resolver el caso deberás visitar los tres "Laboratorios de Investigación" localizados en diferentes puntos del Campus y resolver la prueba que allí se te plantee. Con los resultados obtenidos y la ayuda de las pistas disponibles deberás identificar al culpable.

Utiliza esta tabla para ayudarte a determinar qué sospechosos pudieron cometer o no cometer el asesinato. Rodea la opción correcta (SI o NO en cada caso).

	ARENA	ROCA	TIEMPO
Jacinto	NO	SI / NO	SI
Luis	SI	SI	SI
Esmeralda	SI	SI	NO

El asesinato solo pudo haber sido cometido por LUIS

Ficha 2. LOCALIZACIÓN DE LOS LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN DONDE SE ANALIZAN LAS PRUEBAS

GRUPO Nº _____ CENTRO/S _____
EQUIPO DE INVESTIGACIÓN _____

ITINERARIO 1

Dirígete al centro de la rotonda más próxima localizada al SSE de tu posición actual. Desde allí atraviesa el paso de peatones situado al SE de dicha rotonda y sitúate junto a la esquina NO del “Edificio Interfacultades”, junto a la entrada del garaje. Desde este punto, camina 100 metros hacia el SO. Desde el olivo centenario de la pequeña glorieta que hay en la placeta, dirígete hacia la entrada del “Edificio A de la Facultad de Ciencias” y entra al hall. Estás en el “LABORATORIO DE ANÁLISIS DE ROCAS”.

Desahza tus pasos hasta la esquina NO del “Edificio Interfacultades”. Desde la esquina del edificio, camina unos 100 metros, en dirección NE, hacia la puerta de salida del Campus por la Calle Menéndez Pelayo. En los últimos 20 metros del trayecto, antes de alcanzar la puerta, verás a tu diestra los tocones de varios pinos. Estás en el “LABORATORIO DE DATACIÓN”.

Para llegar al PUNTO DE ENTREGA debes encontrar el estanque situado al S del “Edificio Interfacultades”. Se localiza unos 15 metros al O de su vértice SO.

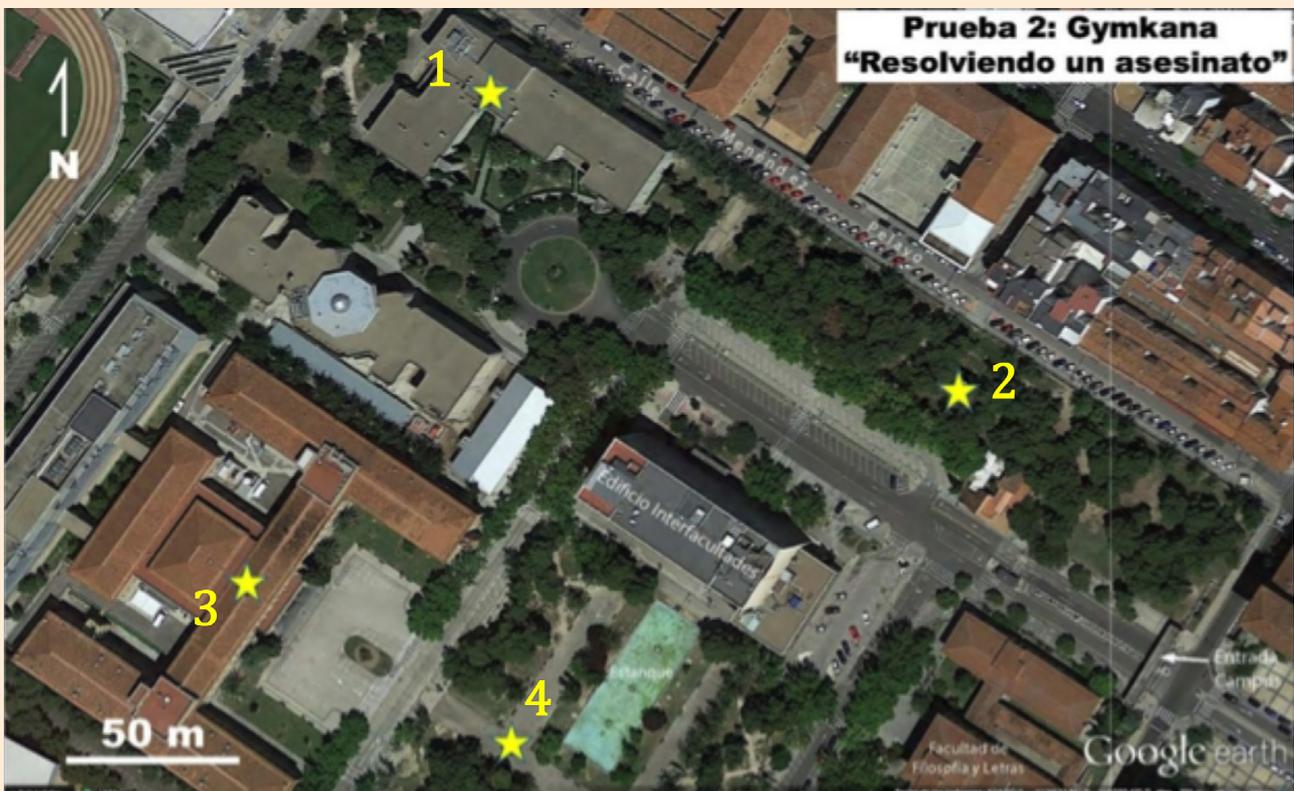


Imagen de satélite del Campus de la Plaza San Francisco (Universidad de Zaragoza) con la situación de los laboratorios de investigación

ITINERARIO 1

Sello Lab. 1

Sello Lab. 3

Sello Lab. 2

Sello Lab. 4

A quienes parten del **punto 1** (en nuestro caso, el Laboratorio de Análisis de Arenas), se les sellará ya este espacio de la tabla. Desde allí, deben llegar posteriormente al Laboratorio de Análisis de Rocas (en nuestro caso denominado 3), de allí han de partir hacia el Laboratorio de Datación (en nuestro caso denominado 2), y finalmente desde este punto llegar al Punto de entrega (en nuestro caso denominado 4). Otras opciones de itinerarios que partan desde otros laboratorios tendrán una solución diferente, aunque siempre han de acabar en 4 (Punto de entrega).

Ficha 3. LABORATORIO DE ANÁLISIS DE ROCAS

GRUPO Nº _____ CENTRO/S _____
EQUIPO DE INVESTIGACIÓN _____

Al analizar mediante microscopía el fragmento de roca incrustado en la cabeza del cadáver, has conseguido determinar que se trata de una roca de origen metamórfico.

1. Observa las rocas A, B y C, clasifícalas según su origen (sedimentario, metamórfico o ígneo) y determina cuál de ellas se corresponde con el fragmento encontrado en la cabeza del fallecido.

ROCA A	roca amarilla de las baldosas del suelo	Origen: Sedimentario (es una caliza)
ROCA B	roca blanca de las baldosas del suelo	Origen: Metamórfico (es un marmol)
ROCA C	roca que está en la mesa de los técnicos	Origen: Ígneo (es un granito)

Al muerto le golpearon en la cabeza con la roca..... **B**

Ficha 4. LABORATORIO DE ANÁLISIS DE ARENAS

GRUPO Nº _____ CENTRO/S _____
EQUIPO DE INVESTIGACIÓN _____

El análisis de las partículas adheridas al cabello encontrado en la mano del cadáver ha revelado que dichas partículas son granos de olivino y fragmentos de conchas.

1. Observa las arenas de las diferentes playas en las que han podido estar los sospechosos durante los últimos días. Indica cuál de estas arenas tiene olivino; cuál de ellas tiene fragmentos de conchas y cuál de ellas no tienen ninguno de estos componentes. Rellena la tabla indicando: olivino, conchas, ninguno

Arena de Playa Bollullo (Tenerife)	Olivino
Arena de la Playa de Cullera (Valencia)	Ninguno
Arena de las playas de Corralejo (Fuerteventura)	Conchas
Arena de Playa Jardín (Tenerife)	Ninguno

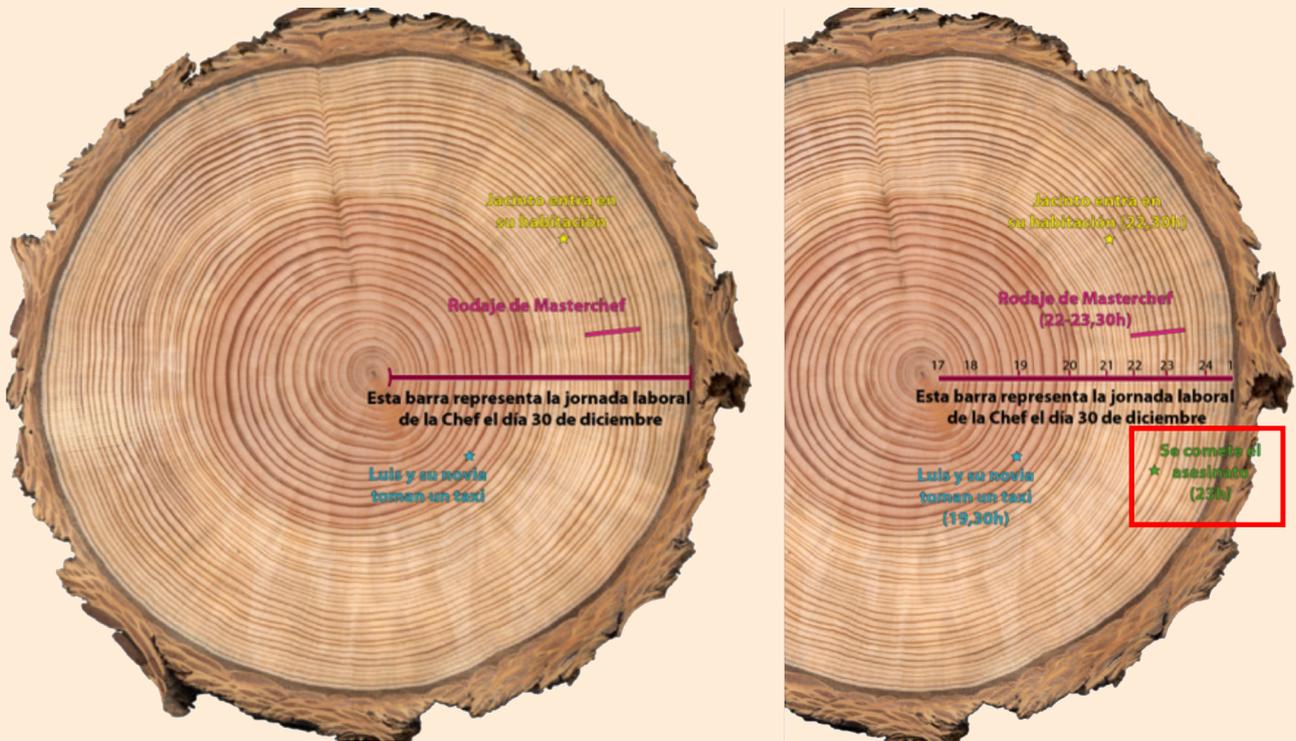
¿En cuáles de estos lugares estuvo el asesino? **Playa Bollullo y Playas de Corralejo**

Ficha 5. LABORATORIO DE DATACIÓN

GRUPO Nº _____ CENTRO/S _____

El número de anillos en el tronco de un árbol es un método de datación absoluta (Dendrocronología). Cada par claro-oscuro constituye un anillo y se corresponde con un año de vida del árbol. El anillo más próximo a la corteza es el más moderno.

Aunque no es correcto y a modo de análogo, en esta prueba vamos a asimilar que la banda roja corresponde al horario de la jornada laboral de Esmeralda. Analiza las coartadas de los sospechosos utilizando la fotografía que se adjunta.



A la izquierda, fotocopia del tocón real de un árbol con el que comprobar las cuartadas temporales de los sospechosos.
A la derecha se puede ver la solución

Jacinto Compostela afirma que la noche del asesinato se fue a dormir sobre las 22:00 o las 22:30. Las grabaciones de las cámaras de seguridad del hotel, registraron la entrada de Jacinto en su habitación, pero dejaron de funcionar por un corte en el suministro eléctrico minutos después.

Luis Pangea declara que el día 30 de diciembre estuvo en Fuerteventura con su novia y que ambos llegaron a Tenerife el día 31 por la mañana. La declaración de un taxista que llevó a Luis y Gema a Playa Bollullo hace sospechar a la policía que la declaración de Luis puede ser falsa.

Esmeralda Karst declara que el día 30 de diciembre estuvo trabajando en su horario habitual de 17:00 a 01:00 h. Esa noche el equipo de Masterchef grabó un programa especial con ella en la cocina del restaurante.

1. ¿Cuánto tiempo representa en este caso cada anillo? **10 minutos**
2. Marca con un punto en la fotografía el anillo correspondiente a la hora del asesinato. Solución en figura
3. Rellena la tabla

Hora real de entrada de Jacinto en su habitación	22:30 h
Hora a la que Luis y su novia toman un taxi en Tenerife	19:30 h
Hora de inicio de grabación de Masterchef	22:00 h
Hora de finalización de grabación de Masterchef	23:30 h

¿Quiénes pudieron cometer el crimen? **Jacinto y Luis**

Ficha 6. SOLUCIÓN Y EXPLICACIÓN FINAL

	ARENA	ROCA	TIEMPO
<i>Gonzalo, el muerto</i>	Muere en playa de arena negra	Tiene clavado en la cabeza un fragmento de mármol	Muere a las 23:00
<i>Jacinto, el amigo</i>	No pudo estar en Fuerteventura	Tiene un objeto fabricado con caliza, pero se desconoce si tiene otros	A las 22:30 se va a dormir pero no sabemos si sale después
<i>Luis, el hermano y asesino</i>	Estuvo en Fuerteventura, puede tener arena blanca + negra en el pelo	Tiene un objeto fabricado con mármol	A las 23:00 ya está en Tenerife
<i>Esmeralda, la chef</i>	Estuvo en Fuerteventura, puede tener arena blanca + negra en el pelo	Tiene un objeto fabricado con mármol	A las 23:00 está trabajando

Leyenda:

En **rojo**: pruebas y/o coartadas que eximen del asesinato.

En **azul** pruebas y/o coartadas que incriminan en el asesinato.

En **negro**: pruebas y/o coartadas no determinantes.

Sólo a Luis le incriminan todas las pruebas.