



Universidad de Valladolid

Facultad de Ciencias

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Máster en Profesor de Educación Secundaria Obligatoria y
Bachillerato, Formación Profesional y Enseñanza de Idiomas

“Geología Forense”:

Vehículo didáctico para enseñar Geología

Autor: Claudia Fernández Hernández

Tutor/es: Ángel Carmelo Prieto Colorado

Índice

Resumen

1. Justificación y Marco Teórico. ¿Qué es la Geología Forense?	3
2. Aplicaciones y Métodos de la Geología Forense.	5
• Análisis de suelos	
• Espectroscopía Raman	
3. Contexto y Aplicación de las Propuestas Didácticas.	7
• 4º de ESO	
• Bachillerato de Excelencia	
4. Conclusiones.	12
5. Bibliografía.	13
6. Anexos	14
• 4º de ESO	
• Bachillerato de Excelencia	

“Geología Forense”: Vehículo didáctico para enseñar Geología

Resumen:

Este trabajo recoge dos propuestas didácticas para abordar una problemática actual en las aulas de Secundaria y Bachillerato: La geología se explica poco, o no se explica. Mediante este cambio metodológico se pretende motivar, tanto al profesorado como al alumnado, a adoptar otra dinámica en el estudio de esta ciencia y, sobre todo, despertar su interés e inquietud por la misma. Para lograrlo se utilizarán tanto la geología forense como los métodos y herramientas empleados en ella, de modo que sirvan como guía en este proceso de enseñanza.

Abstract:

This review includes two didactic proposals to address a current problem in Secondary and High School classrooms: Geology is poorly explained, or not explained. Through this methodological change, it is intended to motivate both, teachers and students, to adopt another dynamic in the study of this science and, above all, to arouse their interest and concern for it. To achieve this, both forensic geology and the methods and tools used in it will be used, so that they serve as a guide in this teaching process.

1. Justificación y Marco Teórico. ¿Qué es la Geología Forense?

La geología forense se halla enmarcada dentro de un conjunto de disciplinas a las que denominamos ciencias de la Tierra (Ruffell, 2010ⁱ), que son empleadas, con distintos fines, para ayudar en la resolución de casos criminales de diversa índole. Así pues, la geología forense se define como la ciencia encargada de analizar muestras y lugares que puedan estar relacionados con conductas delictivas (Ruffell, 2010) mediante la utilización de materiales y métodos geológicos, tales como la geofísica, la petrografía, la geoquímica, la microscopía o la micropaleontología, entre otros (Ruffell, 2010). Además, un rasgo distintivo de esta ciencia es que trata problemas o casos que pueden ser sometidos a debate público en un tribunal de justicia (Lindemann, 2000ⁱⁱ).

Pese a la creencia popular de que el creciente interés de la población por la geología forense se debe a ciertos programas de televisión, así como a novelas negras o

detectivescas, tales como Sherlock Holmes, lo cierto es que el hecho de que esta ciencia cuente con un gran número de aplicaciones o utilidades en nuestra vida diaria es lo que ha hecho que tome gran relevancia en las últimas décadas (Ruffell, 2005ⁱⁱⁱ).

Sin embargo, es innegable que la ficción ha jugado un papel fundamental en el desarrollo de esta ciencia, ya que el mismo Arthur Conan Doyle incluía en sus historias referencias geológicas, geomorfológicas y botánicas (Ruffell, 2005), así como el clásico rol del geólogo forense, encargado de vincular la suciedad en la ropa de un sujeto con la escena de un crimen (Ruffell, 2005).

De hecho, la lectura de las aventuras de Sherlock Holmes, así como ciertas partes del libro de Hans Gross (considerado por muchos como el padre de la Criminalística) ayudaron a Edmond Locard (criminalista francés) a desarrollar El Principio del Intercambio de Locard (Ruffell, 2005), que dice que “siempre que dos objetos entran en contacto se produce una transferencia de material”.

Por todo ello, resulta evidente que la ficción ayuda a despertar el interés de las personas por la geología forense, lo cual, como docentes, puede ayudarnos a plantear el temario relativo a la geología de un modo más dinámico y atractivo, con el fin de acercar esta ciencia a nuestros alumnos. Esta es la premisa que ha motivado, de hecho, la realización del presente trabajo.

La propuesta que va a llevarse a cabo a continuación se fundamenta en el aprendizaje basado en problemas (ABP), definido por Barrows, en 1986, como “un método de aprendizaje basado en el principio de usar problemas como punto de partida para la adquisición e integración de los nuevos conocimientos”. De este modo, al centrar el aprendizaje en el alumno, lograremos no sólo aumentar su interés por la materia, sino hacer de dicho proceso de aprendizaje algo constructivo y significativo, donde se relacionen conceptos conocidos con otros nuevos adquiridos, en lugar de algo meramente mecánico o repetitivo (Morales, 2004^{iv}). Es decir, lograremos afianzar conceptos teóricos mediante su aplicación práctica.

Otra razón para emplear el ABP es que favorece el desarrollo del pensamiento crítico, competencia muy necesaria en ciencia, ya que requiere de un mayor pensamiento inductivo y deductivo por parte del alumno (Quintero et. al, 2017^v).

Además, en el planteamiento del problema también introduciremos elementos de gamificación. Dicho término se define como el uso de mecánicas, elementos y técnicas de diseño de juegos, en un contexto externo, con el fin de involucrar a los usuarios y resolver problemas (Borrás, 2015^{vi}). Con ello conseguiremos motivar a nuestros alumnos, que obtengan un aprendizaje más significativo al verlo como una alternativa más atractiva, que sean más autónomos y, generar competitividad a la vez que colaboración (Borrás, 2015), entre otras.

2. Aplicaciones y Métodos de la Geología forense.

Sin embargo, antes de adentrarnos en el bruto del trabajo, es necesario conocer cuáles son las aplicaciones y los métodos que emplea la geología forense en sus estudios.

- **Análisis de suelos**

Una de las principales aplicaciones de la geología forense consiste en vincular escenas del crimen con los sospechosos (Ruffell, 2005). Para ello, debe hacerse una caracterización del suelo, combinando métodos descriptivos, analíticos y de información espacial (Fitzpatrick, 2009^{vii}), en función de cuál sea el tamaño de la muestra o las características de ésta.

Tales métodos son:

- Geomorfología forense: Consiste en la observación directa del paisaje o de un terreno para detectar posibles cambios o perturbaciones que indiquen algún tipo de irregularidad (Ruffell, 2005). Este tipo de técnica resulta muy útil al no ser invasiva y evitar, así, el uso de tecnología más cara, pero requiere confianza y experiencia por parte de los geólogos (Ruffell, 2005).
- Análisis descriptivos de las muestras: Tanto del tamaño, color, textura, etc. (Sangwan, 2020^{viii})
- Gradiente de densidad: Este método consiste en determinar la coincidencia de dos muestras de tierra (la del lugar donde se ha enterrado un cadáver y la de la pala del sospechoso, por ejemplo) mediante el uso de dos cilindros de densidad. De este modo, las muestras de tierra se separan formando bandas minerales. Las bandas de los dos cilindros serán iguales si se trata del mismo tipo de tierra (Sangwan, 2020).

- Microscopía óptica: Empleada para la identificación de rocas y minerales. Gracias a ella, el geólogo es capaz de verificar las características de las descripciones macro morfológicas hechas con anterioridad (Fitzpatrick, 2009), así como determinar las causas de las variaciones en el suelo (meteorización, actividades antropogénicas, manejo de la tierra, etc.) (Fitzpatrick, 2009).
- Difracción de Rayos X en muestras de polvo (XRD): Es una técnica de análisis destructiva que se emplea para la identificación de minerales mediante la distinción y posterior comparación de sus patrones de difracción (Fitzpatrick, 2009). Esta técnica puede utilizarse tanto para tamaños de muestra muy pequeños, del orden de unas pocas decenas de miligramos, como para otras de mayor tamaño (Fitzpatrick, 2009).
- Fluorescencia de Rayos X (XRF): Se trata de una técnica de análisis químico cualitativo y semicuantitativo con cartografía química elemental. Es una técnica no destructiva que se emplea para la determinación de elementos principales y elementos traza en una amplia variedad de materiales geológicos (Potts et. al, 1992^{ix}). Se basa en la relación teórica entre las intensidades de rayos X medidas y las concentraciones de elementos en la muestra (Thomsen, 2007^x).
- Análisis geoquímicos: Utilizados para determinar la composición química de suelos, rocas, minerales, fósiles o restos humanos (Ruffell, 2005), así como para evaluar la composición de cabello humano, narcóticos, explosivos, balas o materiales falsificados (Ruffell, 2005).
- Métodos biológicos: Empleados para caracterizar los componentes orgánicos del suelo (grasas, ceras, proteínas, celulosa, hemicelulosa y lignina) (Fitzpatrick, 2009), así como comunidades bacterianas del suelo o ADN de fragmentos de plantas (Fitzpatrick, 2009).

- **Espectroscopía Raman**

Sin embargo, cuando nos adentramos en otro tipo de problemáticas, resulta necesario emplear espectroscopía para analizar las diferentes muestras. Las principales espectroscopías empleadas para detectar vibraciones en moléculas se basan en los procesos de absorción infrarroja y dispersión Raman (Smith et. al, 2019^{xi}).

La espectroscopía Raman presenta varias ventajas en comparación con otras técnicas instrumentales de análisis fisicoquímico (Prieto, 2009^{xii}). En primer lugar, se trata de una técnica de carácter no destructivo y mínimamente invasiva (Prieto, 2009). Además, el

espectro Raman se corresponde con el espectro vibracional de la sustancia analizada (Prieto, 2009), por lo que es altamente específica para cada analito (Prieto, 2009). Puede ser aplicada independientemente del estado de agregación de la materia (Prieto, 2009) y, gracias a la miniaturización de dicha tecnología, es posible realizar análisis “in situ” de las muestras, sin preparación previa de las mismas, y obtener un resultado de alta calidad en un breve periodo de tiempo, por lo que resulta altamente eficiente (Prieto, 2009).

Todo ello, hace que la espectroscopía Raman juegue un papel fundamental en el campo de la geología forense, pudiendo ser aplicada para:

- La autenticación de Obras de Arte, tanto pictóricas como joyas con gemas y piedras preciosas (Prieto et. al, 2009).
- Identificación de drogas de síntesis clandestina y venta ilegal (Prieto et. al, 2009).
- El análisis e identificación de tintas superpuestas en falsificaciones de documentos públicos (Prieto et. al, 2009)
- Identificación de fragmentos asociados con restos de esqueletos humanos (Edwards, 2009^{xiii}).

3. Contexto y Aplicación de las Propuestas Didácticas.

Tal y como se ha mencionado en el primer apartado del trabajo, el objetivo de esta propuesta es fomentar el interés de los alumnos por la ciencia y, más concretamente, por la geología, al no ser, por lo general, lo suficientemente tratada en las aulas.

Teniendo en cuenta el creciente nivel de analfabetismo científico al que nos enfrentamos los docentes, contar con herramientas alternativas para hacer frente a este preocupante problema puede suponer un cambio a corto y, especialmente, a largo plazo en nuestra sociedad.

Dado que una propuesta didáctica ha de adaptarse siempre al currículum vigente, se han llevado a cabo dos diferentes, donde se tratarán distintos contenidos con la pretensión, a su vez, de alcanzar distintos objetivos.

- **4º de ESO: Resolviendo un crimen: ¿Quién asesinó a Silvia Ramos?**

(La actividad se adjunta como anexo al final del trabajo)

I. Contexto.

La primera de ellas está ubicada en el curso de 4º de la ESO, en el bloque “Dinámica de la Tierra” según la ley vigente (Real Decreto, 1105/2014^{xiv}).

Bloque	Contenidos	Criterios de evaluación	Objetivos
Dinámica de la Tierra	Estructura y composición de la Tierra: Tipos de rocas y ciclos litológico y geológico. Métodos de estudio de la Tierra.	1. Categorizar e integrar los procesos geológicos, climáticos y biológicos más importantes de la historia de la tierra. 2. Comprender los diferentes modelos que explican la estructura y composición de la Tierra.	1.1. Identificar y describir hechos que muestren a la Tierra como un planeta cambiante, relacionándolos con los fenómenos que suceden en la actualidad. 1.2. Ser capaz de distinguir los distintos tipos de rocas y su proceso de formación. 1.3. Relacionar las características de la estructura interna de la Tierra, asociándolas con los fenómenos superficiales.

La actividad ha de llevarse a cabo una vez estudiados el ciclo litológico y geológico terrestres, de manera que los alumnos sean capaces de aplicar los conocimientos que han adquirido (o les ayude a afianzarlos) mediante la resolución de una investigación policial.

La clase se dividirá en grupos de 4 o 5 alumnos, que deberán trabajar de manera colaborativa para dar respuesta a las diferentes preguntas planteadas. Se empleará una sesión en el aula y se fijará una fecha de entrega para que puedan completar la actividad de manera autónoma fuera del centro.

El objetivo principal consiste, no solamente en exponer a los alumnos una de las posibles aplicaciones de la geología, en este caso en el ámbito forense, que, se presupone, es desconocida por muchos, sino en mostrarles la relevancia de los contenidos teóricos que estudian, ya que requerirán de ellos en la práctica.

II. Evaluación.

La evaluación de la actividad se llevará a cabo atendiendo a los siguientes criterios:

	Mal (0,25p)	Regular (1p)	Bien (1,75p)	Muy bien (2,5p)
Corrección (Que contesten correctamente a las cuestiones y razonen de manera adecuada)				
Comunicación (Que sean capaces de trabajar bien en grupo, respetándose y hablando entre ellos, aportando ideas, con buena actitud, etc).				
Originalidad (Que sean originales a la hora de pensar en la historia final del caso)				
Presentación (Que esté cuidada, con detalles y orden)				

III. Resultados.

Esta actividad fue llevada a cabo durante mi periodo de PRACTICUM del Máster en profesor de Educación Secundaria Obligatoria, en la especialidad de biología y geología, en dos cursos de 4º de la ESO. Dada la edad de los

estudiantes, así como su escaso conocimiento de la materia, se intentó presentar el caso de una forma llamativa y dinámica, para captar su atención y que no resultara demasiado complejo o se saliera del marco establecido por el propio currículum.

La gran mayoría de los alumnos mostró un notable interés por realizar la actividad. Fueron capaces de relacionar los conceptos vistos en las clases teóricas y aplicarlos para resolver el ejercicio. Además, aquellos que le dedicaron una mayor atención respondieron mejor a la pregunta sobre clasificación de rocas que apareció, posteriormente, en el examen teórico de la unidad didáctica. Por último, varios de ellos señalaron que les había gustado dicha actividad, ya que desconocían por completo que la geología tuviera tal aplicación.

Cabe destacar que todos ellos lograron aprobar el trabajo grupal y la mayoría obtuvo una calificación superior al notable, por lo que podemos afirmar que su puesta en práctica resultó exitosa, al haberse alcanzado los objetivos de forma satisfactoria y haber obtenido una buena acogida por parte del alumnado, que se vio reflejada, tal y como se especifica, en las calificaciones finales.

Sin embargo, es necesario remarcar que el hecho de tener que ceñirnos al temario del currículum, así como el poco tiempo del que se dispone para desarrollarlo en su totalidad, dificulta que se lleven a cabo este tipo de actividades, por lo que resultaría mucho más práctico realizarla de manera conjunta con otras asignaturas, coordinando a varios departamentos. De este modo podrían incluirse un mayor número de competencias clave a trabajar en el diseño de la actividad, así como conceptos de otras materias que puedan estar relacionados y que puedan ser aplicados a este contexto en concreto.

- **Bachillerato de Excelencia: Una mirada a la Geología Forense. El caso de José Moreno.**

(El proyecto se adjunta como anexo al final del trabajo)

- I. Contexto.

En este caso ubicamos la actividad en el Bachillerato de excelencia de la siguiente forma:

En 1º de Bachillerato se programarán 5 charlas de 1 hora cada una durante el primer trimestre, donde se abordarán los siguientes temas relacionados con la geología forense:

- ✓ Análisis de suelos (rocas y minerales).
- ✓ Análisis y autenticación de gemas y piedras preciosas.
- ✓ Análisis y autenticación de obras pictóricas (pigmentos).
- ✓ Análisis e identificación de tintas superpuestas y billetes falsos.
- ✓ Identificación de drogas de síntesis clandestina y venta ilegal.

También podría programarse una conferencia más larga donde se hablara de todos ellos, que se ubicaría en el segundo cuatrimestre de 1º de bachillerato. Con estas charlas y/o conferencia se pretende informar a los alumnos sobre los distintos campos de estudio que aborda la geología forense, de cara a que elijan, posteriormente, un proyecto que llevar a cabo en 2º de bachillerato. Dicho proyecto se realizará en los meses de octubre a abril.

El hilo conductor de este proyecto será, al igual que hicimos en 4º de la ESO, un crimen o actividad ilícita que deberán resolver. Dependiendo del área de estudio que elijan, se les ubicará en una parte de la historia u otra, de manera que puedan complementar el trabajo de sus compañeros, o bien, que aprendan cómo se trabajaría en un caso real.

El objetivo aquí, además de los vistos anteriormente (trasladar y afianzar los contenidos teóricos mediante su aplicación práctica, desarrollar el pensamiento crítico y científico y motivar al alumnado gracias a una propuesta dinámica y llamativa) es también que aprendan a manejar distintas herramientas utilizadas por geólogos, como el microscopio óptico o el espectrómetro láser Raman. Es decir, iremos un paso más allá en nuestras pretensiones.

Además, los alumnos del bachillerato de excelencia tienen a su disposición los dispositivos y materiales de la Facultad de Ciencias, de modo que podrán llevar a cabo su proyecto sin inconvenientes. Respecto a las muestras necesarias para llevar a cabo los análisis de los distintos proyectos, la Facultad se hará cargo de proporcionárselas, utilizando para ello las vías necesarias. Las muestras de mayor controversia (como las de éxtasis o billetes falsos) podrán obtenerse con réplicas de laboratorio y del Banco Central Europeo para uso didáctico.

II. Evaluación.

Cada alumno deberá entregar, al finalizar su proyecto, un informe detallado de los análisis que han realizado, así como su fundamento teórico y el resto de las preguntas especificadas en el PowerPoint que se enmarquen en la parte de la historia que les ocupe.

Se evaluará, no solamente la claridad, corrección e información de dicho informe, sino también componentes actitudinales, como su comportamiento en el laboratorio, el interés mostrado o su método de trabajo.

4. Conclusiones

Al igual que hicieron Carrillo et. al en 2018^{xv}, o Casanoves et. al en 2017^{xvi}, esta propuesta didáctica prueba que mediante la utilización de elementos criminalísticos y de gamificación en el aula pueden obtenerse resultados muy favorables en lo que al aprendizaje y a la calidad de este respecta. Además de trabajar y afianzar conceptos, vistos previamente en clase, llevándolos a la práctica, también se consigue que los estudiantes desarrollen competencias clave tales como la científica, la social, la emprendedora o la de aprender a aprender, tanto si trabajan de manera grupal (4º de ESO) como de forma individual (Bachillerato de excelencia).

Como se ha especificado anteriormente, esta propuesta didáctica supone un cambio importante en cuanto a la metodología de enseñanza que se sigue en geología, pues pasamos de un plano meramente teórico a uno práctico, que resultará en un mayor y mejor aprendizaje, ya que se involucran las emociones del alumno al despertar su interés por la materia.

Se pretende con ello volver a poner en valor esta ciencia que, con el paso de los años, se ha relegado a un segundo plano, bien por falta de conocimientos de los docentes (al ser la mayoría de ellos licenciados en ciencias biológicas) o bien por falta de una propuesta didáctica viable y atractiva que llevar a la práctica.

Además, el fin ulterior de ambas propuestas es el de contribuir a la alfabetización científica de la sociedad, de modo que puedan llegar a comprenderse mejor algunos procesos o métodos empleados en este campo, generando con ello una mayor cultura científica, que desembocará en un mayor respeto por el mundo que nos rodea, al ser capaces de entender lo que sucede en la naturaleza y ponerla, de este modo, en valor. Por último, se desarrollará el espíritu y pensamiento crítico de los jóvenes, lo que ayudará a que no tomen por cierta toda la información que caiga en sus manos y que les enseñará a cuestionar siempre las fuentes de las que provenga dicha información.

Todo ello supondrá una mejora en la calidad educativa de nuestros estudiantes que, con el tiempo, reportará beneficios y nos hará crecer como sociedad.

5. Bibliografía

- ⁱ Ruffell, A. (2010). Forensic pedology, forensic geology, forensic geoscience, geoforensics and soil forensics. *Forensic Science International*, 202(1-3), 9-12.
- ⁱⁱ Lindemann, J. W. (2000). Forensic geology. *The Professional Geologist*, 37, 4-7.
- ⁱⁱⁱ Ruffell, A., & McKinley, J. (2005). Forensic geoscience: applications of geology, geomorphology and geophysics to criminal investigations. *Earth-Science Reviews*, 69(3-4), 235-247.
- ^{iv} Morales Bueno, P., & Landa Fitzgerald, V. (2004). Aprendizaje basado en problemas.
- ^v Quintero, V. L., Palet, D., Avila, J. E., Olivares, D., & Olivares, S. L. (2017). Desarrollo del pensamiento crítico mediante la aplicación del Aprendizaje Basado en Problemas. *Psicología Escolar e Educativa*, 21, 65-77.
- ^{vi} Borrás Gené, O. (2015). Fundamentos de gamificación.
- ^{vii} Fitzpatrick, R. W. (2009). Soil: forensic analysis. *Wiley encyclopedia of forensic science*, 1-14.
- ^{viii} Sangwan, P., Nain, T., Singal, K., Hooda, N., & Sharma, N. (2020). Soil as a tool of revelation in forensic science: a review. *Analytical Methods*, 12(43), 5150-5159.
- ^{ix} Potts, P. J., & Webb, P. C. (1992). X-ray fluorescence spectrometry. *Journal of Geochemical Exploration*, 44(1-3), 251-296.
- ^x Thomsen, V. (2007). Basic fundamental parameters in X-ray fluorescence. *SPECTROSCOPY-SPRINGFIELD THEN EUGENE THEN DULUTH-*, 22(5), 46.
- ^{xi} Smith, E., & Dent, G. (2019). *Modern Raman spectroscopy: a practical approach*. John Wiley & Sons.
- ^{xii} Prieto, Á.C. (2009). Ciclo de Conferências: "As Ciências Exactas e Naturais na Investigação Forense". *GEOlogos* 8, 2009, pp 9-24.
- ^{xiii} Edwards, H.G. (2009). Ciclo de Conferências: "As Ciências Exactas e Naturais na Investigação Forense". *GEOlogos* 8, 2009, pp 3-7.
- ^{xiv} <https://bocyl.jcyl.es/boletines/2015/05/08/pdf/BOCYL-D-08052015-4.pdf>

-
- ^{xv} Carrillo, L., Luzón, M. A., Mayayo, M. J., Soria, A. R., Yuste, A., & Gil, A. (2018). Resolviendo un asesinato: una experiencia con la geología forense como estrategia de enseñanza-aprendizaje en la educación secundaria. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 26(2), 163-163.

 - ^{xvi} Casanoves, M., Salvadó, Z., González, Á., Valls, C., & Novo, M. T. (2017). Learning genetics through a scientific inquiry game. *Journal of Biological Education*, 51(2), 99-106.

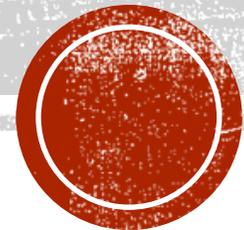
6. Anexos

- **4º de ESO**
- **Bachillerato de Excelencia**



RESOLVIENDO UN CRIMEN

¿Quién asesinó a Silvia Ramos?



LA NOCHE DEL CRIMEN



- La madrugada del 5 de marzo de 2022 Silvia Ramos fue asesinada en Tenerife. Aquella noche, Silvia había acudido a un bar para celebrar el cumpleaños de una de sus amigas. Tomaron algunas copas y, según varios testigos, Silvia mantuvo una acalorada discusión con un joven que había bebido más de la cuenta. Al terminar la reunión, sus amigos se ofrecieron a acompañarla, pero Silvia prefirió volver sola a casa, ya que el bar se encontraba cerca de su domicilio.
- A la mañana siguiente, el cuerpo sin vida de Silvia fue hallado en unas escombreras. Presentaba un fuerte golpe en la cabeza que había, presuntamente, ocasionado su muerte.



LAS PRUEBAS



- Se han encontrado restos de arena en los zapatos y en el cabello de Silvia, así como un fragmento de piedra en la herida de su cabeza, lo que parece indicar que el arma utilizada para perpetrar el crimen fue una roca.
- Los análisis de las muestras de arena revelan un alto contenido en basalto y olivino. Sin embargo, estas rocas no coinciden con las encontradas en la cuenca sedimentaria donde se halló el cadáver.
- El análisis de los fragmentos de roca incrustados en su cabeza han revelado que se trata de mármol.
- La policía investiga ahora a tres sospechosos:





LOS SOSPECHOSOS

- Roberto Pérez es el joven con el que Silvia discutió en el bar la noche de su asesinato.
- Roberto insiste en que se fue a casa a las 5 am. Sin embargo, el dueño del bar asegura haberle visto abandonar el local pocos minutos después de que Silvia y sus amigos se marcharan.
- En su casa han encontrado varias rocas sedimentarias de gran tamaño, así como restos de polvo en sus zapatos y su ropa.
- Roberto asegura que esto se debe a que trabaja en la construcción, y que no tiene nada que ver con el asesinato de Silvia.

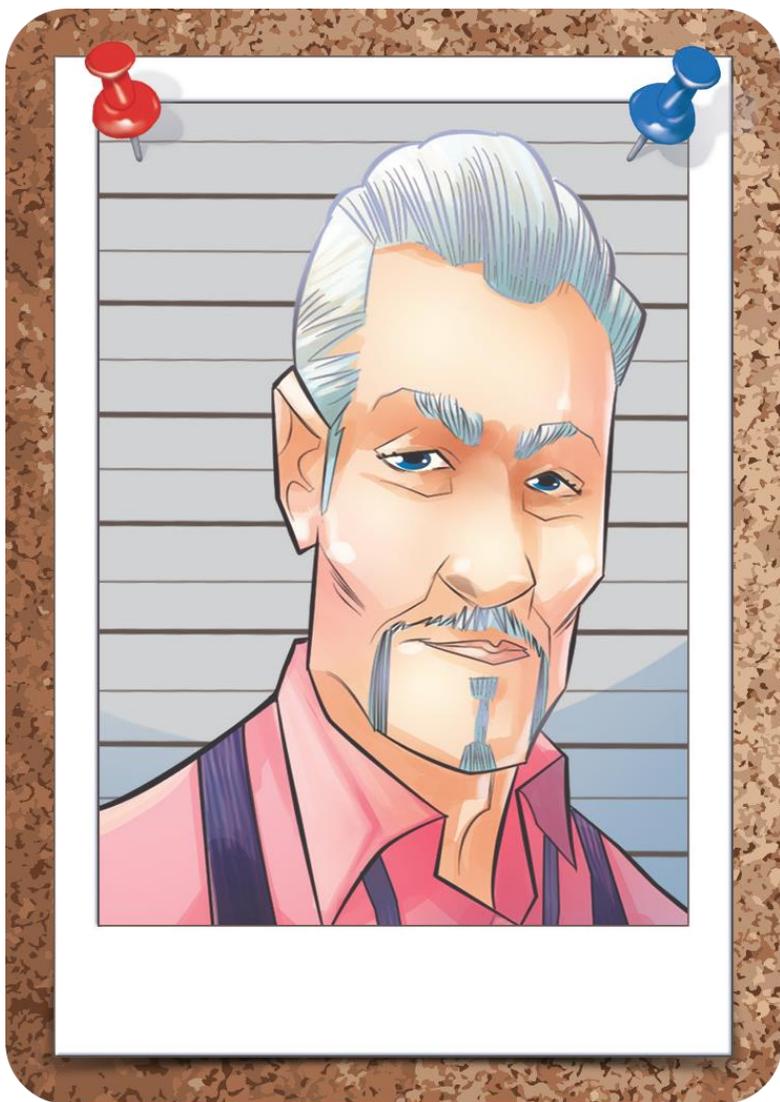




LOS SOSPECHOSOS

- Laura Ramos es la hermana de Silvia, y nuestra segunda sospechosa.
- La relación entre ambas empeoró hace algunos años, cuando Laura le prestó a Silvia una importante suma de dinero que ella aún no le había devuelto.
- En el coche de Laura se han encontrado restos de arena igual a la que Silvia tenía en el pelo y los zapatos. Además, en su casa han hallado varias rocas metamórficas negras.
- Sin embargo, Laura mantiene que la arena pertenece a una playa cercana en la que estuvo aquel fin de semana, y que durante la madrugada del sábado se encontraba en casa durmiendo.





LOS SOSPECHOSOS

- Fernando Álvarez es el marido de Silvia.
- La noche del crimen Fernando se quedó trabajando hasta tarde en su oficina y al salir, asegura, se fue derecho a casa, donde esperó a que Silvia llegara, aunque esto nunca sucedió.
- El coche de Fernando ha sido examinado, y en él se han encontrado restos de tierra y polvo. Además, los zapatos de Fernando contienen restos de arena igual a la hallada en el cuerpo de Silvia. Por último, una figura de mármol de su casa presenta roces y parece haber sido limpiada a conciencia.
- Ante las acusaciones, Fernando se ha defendido diciendo que ese sábado estuvo paseando por la playa, de ahí la arena de sus zapatos, y que la figura de mármol llevaba años en aquel estado.



RESUELVE EL CASO



Ayuda a los investigadores a resolver el crimen respondiendo a las siguientes preguntas:

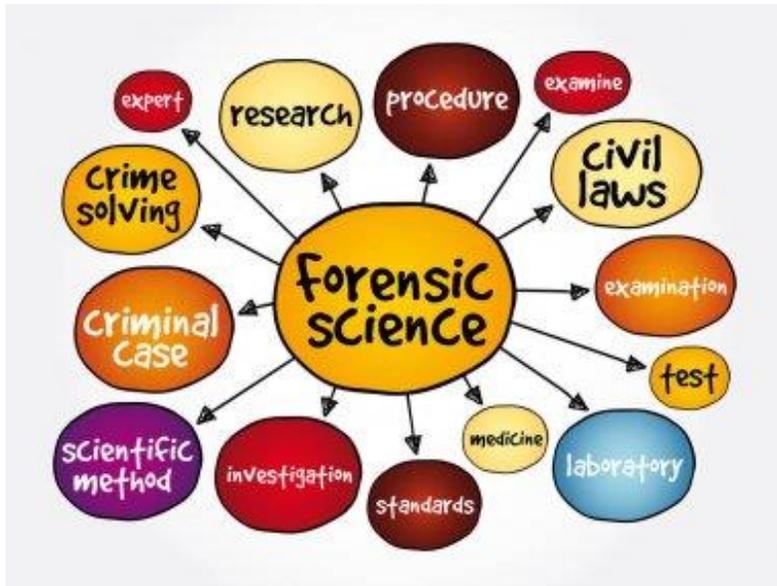
- La arena de las escombreras donde fue encontrado el cuerpo de Silvia no coincide con la hallada en su pelo y sus zapatos. ¿Qué crees que puede significar esto?
- Todo parece indicar que la arena encontrada en los zapatos de Silvia es arena de playa. ¿Qué tipo de rocas son el basalto y el olivino? ¿Cómo es posible encontrar este tipo de rocas en la arena de la playa?
- Respecto a Roberto, el primer sospechoso, se dice que han encontrado rocas sedimentarias en su casa. ¿Podría tratarse del mármol con el que Silvia fue golpeada? ¿Podrías pensar en algún ejemplo de roca sedimentaria que Roberto pudiera tener en su casa?
- En casa de Laura han hallado rocas metamórficas negras. ¿Podría tratarse de mármol? ¿Se te ocurre qué roca puede ser?
- Ahora, ayudándote de las pruebas recopiladas, haz una breve reconstrucción de la noche del crimen, indicando quién es el asesino y por qué has llegado a esta conclusión. ¿Por qué crees que mató a Silvia?





¿SABÍAS QUE..?

- La ciencia implicada en la investigación de distintos tipos de crímenes, mediante el análisis de muestras y el uso de métodos geológicos, se denomina Geología Forense. Algunas de las aplicaciones de la Geología Forense son:
- Autenticación de obras de arte y piedras preciosas.
- Identificación de drogas de síntesis clandestina y venta ilegal.
- Falsificación de documentos públicos y de billetes.
- Adulteración fraudulenta de alimentos.
- Relación de los sospechosos con el lugar del crimen o su víctima.
- Predicción de los lugares en los que se puede llevar a cabo un crimen o del patrón de dispersión de algunas enfermedades (cólera) mediante Sistemas de Información Geográfica (GIS).





UNA MIRADA A LA GEOLOGÍA FORENSE

EL CASO DE JOSÉ MORENO

¡BIENVENIDO AL CASO, INVESTIGADOR!

- Es tu primer día de trabajo como geólogo forense en el departamento de policía, y se te requiere para ayudar a resolver un reciente caso de asesinato. Deberás prestar atención a todas las pistas, analizar las pruebas que encuentres a tu paso e informar a los detectives para dar con el culpable.
- Trabajarás en el laboratorio.
- Deberéis barajar distintas hipótesis, contrastar datos y cotejar pruebas. Será de vital importancia que seáis rigurosos y precisos a la hora de llevar a cabo los distintos análisis, pues un paso en falso podría dejar en libertad al malhechor.



El jefe ya está esperándote en su despacho para informarte del caso.
¡Adelante! No le hagas esperar.

PRESENTACIÓN

“Vaya, por fin nos conocemos.

Buenos días, soy el jefe del Servicio de Criminalística de la policía, y el responsable de coordinar el trabajo de todos los forenses que participen en la resolución de este caso.

Veo que tienes ganas de empezar, así que no perdamos más tiempo con formalidades.

Voy a contarte qué ha sucedido:”





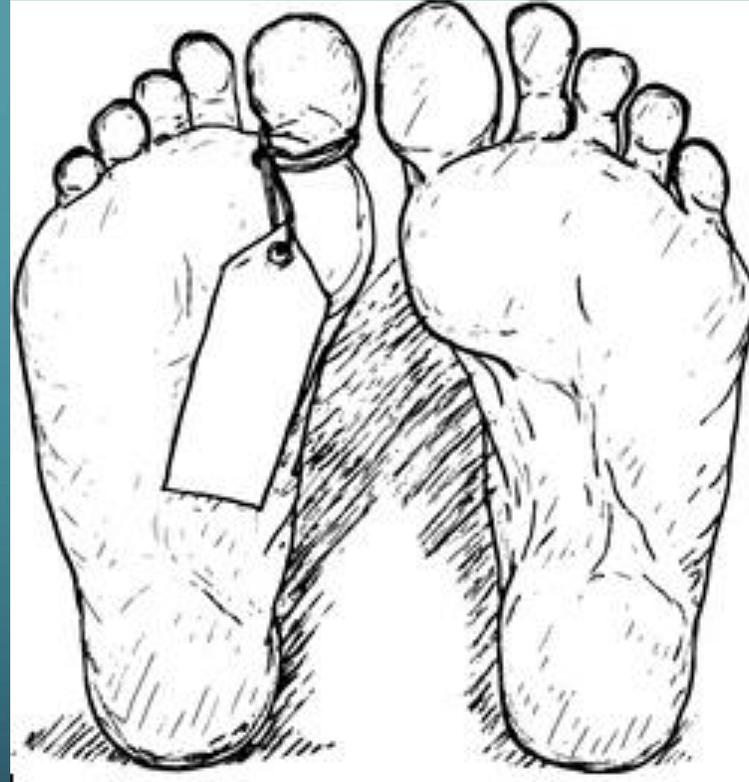
ANTECEDENTES

“Este es José Moreno. El señor Moreno era un empresario de renombre en nuestro país, pero se rumorea que últimamente no estaba pasando por su mejor momento. Las malas lenguas dicen que se le había visto frecuentar clubes nocturnos acompañado de personas de dudosa reputación. Desconocemos, por ahora, la causa de esta mala racha, aunque esperamos que los interrogatorios arrojen algo de luz al respecto.

Lo que sí sabemos, sin embargo, es que lamentablemente no conseguirá enderezar su camino, pues fue hallado muerto la madrugada del 3 de junio.”

LAS PISTAS

- El cuerpo sin vida del señor Moreno fue encontrado a orillas del río.
- Los forenses han determinado que murió a causa de un fuerte golpe en la cabeza.
- Se han hallado restos de óxido en la herida del cráneo.
- El cadáver no mostraba signos de violencia, más allá del traumatismo que originó su muerte.
- En los zapatos del señor moreno se han encontrado restos de polvo y tierra, así como debajo de sus uñas.





1° PROYECTO

Tu primera tarea será determinar si la tierra presente en los zapatos y bajo las uñas de José Moreno coincide con la que se encuentra a orillas del río. Para ello deberás utilizar el microscopio óptico y analizar ambas muestras. Posteriormente utiliza fluorescencia de rayos x para determinar su composición química, espectroscopía raman para analizar las fases minerales y, por último, difracción de rayos x.

- ¿Cuál ha sido el resultado? **La tierra hallada bajo sus uñas coincide con la del río, pero la de sus zapatos es distinta.**
- ¿Qué nos indica esto?

PESQUISAS

“Hum... Así que la tierra de sus zapatos no es la misma que la del río. Sin embargo, no se han encontrado más restos de tierra ni en su ropa ni en el resto de su cuerpo. Además, la tierra que hay bajo sus uñas es la misma que la de la orilla del río. Tendremos que seguir investigando...”



“Esta mañana nuestros compañeros han estado examinando el despacho del señor Moreno y han dado con algo interesante. Esta es su agenda personal. En ella, en el día antes de su muerte, hay apuntada una cita con un socio cercano y un número de teléfono. Además, en su papelería han hallado un trozo de papel arrugado con una dirección anotada en él. Veamos si todo esto nos conduce a alguna parte...”



EDUARDO MARTÍN

Eduardo Martín ha trabajado con el señor Moreno durante los últimos 11 años en diferentes proyectos. Sin embargo, según fuentes cercanas, no lograban ponerse de acuerdo en su última inversión. José Moreno, al parecer, temía que pudiera acabar de dilapidar sus últimos ahorros, pero Martín insistía. En la reunión del 2 de junio zanjarían definitivamente el asunto. Ésta ha sido la declaración de Eduardo Martín:

“Lamento muchísimo la pérdida de José. Llevábamos años siendo amigos cercanos y esto ha supuesto un duro golpe para mí. Entiendo que deban interrogarme, pero yo no tengo nada que ver con su muerte. En nuestra última reunión, de hecho, José y yo llegamos a un acuerdo sobre un proyecto conjunto que íbamos a iniciar.

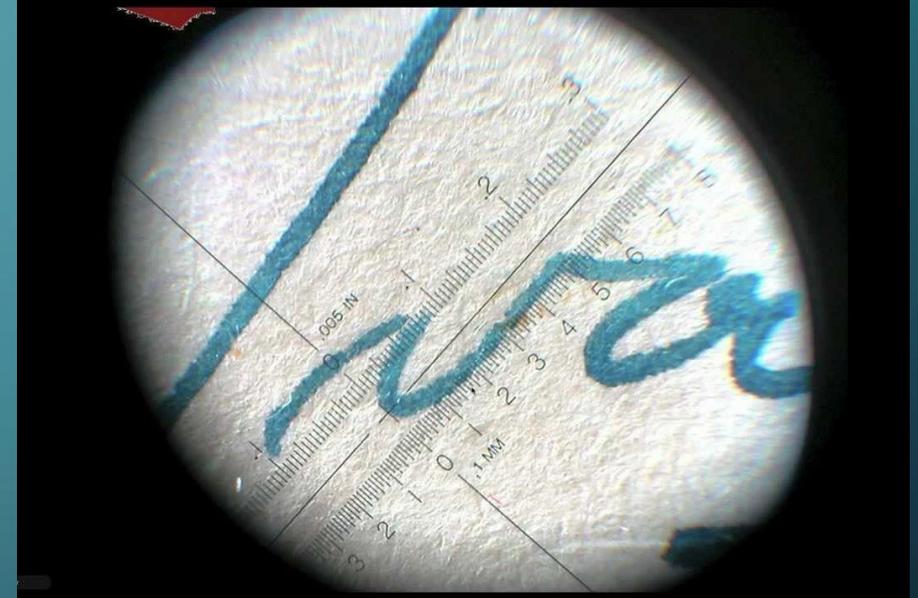
Pueden echar un vistazo a los documentos, si lo desean. Allí encontrarán la firma que prueba lo que les digo. Además, esa noche la pasé trabajando en mi oficina. Es imposible que pudiera haberlo hecho yo. Espero, no obstante, que den pronto con su ejecutor.”

2º PROYECTO

“Se ha comprobado la coartada de Eduardo y las cámaras de vigilancia del edificio donde trabaja lo filmaron abandonando el lugar a las 11pm, por lo que el resto de su declaración también podría ser falsa.”

Analiza el trazo de la firma en el documento que Martín nos ha entregado y comprueba si se trata de una falsificación. Para ello, utiliza FRX, espectroscopía Raman y microscopía óptica.

- ¿Qué has averiguado? **La firma es falsa, está hecha a varios trazos.**
- ¿Qué crees que puede indicar?



“El equipo ha investigado tanto el coche como la casa de Eduardo, pero no ha hallado restos de tierra que coincidan con los que hemos analizado. Sin embargo, es evidente que ha cometido un delito. ¿Podrá estar vinculado con su asesinato de alguna otra forma?”



ÁNGELA HERNÁNDEZ

Al llamar al número de teléfono que aparecía anotado en la agenda de José Moreno, hemos contactado con una vieja amiga suya: Ángela Hernández. Por lo visto se dedica a la compra-venta de obras de arte desde hace un tiempo, y le facilitó el número de teléfono de su oficina para que pudieran reunirse. Esto es lo que nos ha dicho:

“José vino a mi despacho la mañana antes de su muerte porque estaba interesado en uno de los últimos cuadros que había adquirido. Se lo mostré y negociamos el precio, pero en el último momento de echó atrás y se marchó de aquí muy malhumorado, diciendo que el cuadro era falso y que yo trataba de engañarlo. Lamento mucho que haya fallecido en tales circunstancias, pero hacía tiempo que José ya no era José. ¿Que qué hice yo esa madrugada? Dormir, agente, igual que todas las demás.”

3° PROYECTO

Ángela se ha mostrado fría y ha despachado a nuestros compañeros con cierta hostilidad. Pese a que se ha verificado que su coartada es cierta, desconocemos si ha podido tener algo que ver en la muerte de su viejo amigo. Por ello, deberás analizar el cuadro en el que estaba interesado José Moreno y comprobar si es o no una falsificación, ya que podría ser un posible móvil del crimen. Emplea FRX, espectroscopía Raman y microscopía óptica:

- ¿Cuál es el resultado? **El cuadro es auténtico.**
- ¿Qué nos indica esto?





CLARA VEGA

Sólo nos queda un dato por comprobar. Los detectives han acudido a la dirección que había escrita en el trozo de papel que se encontró en la papelería y una chica llamada Clara Vega les ha hecho pasar. Esto es lo que ha declarado:

“Ah, ese hombre. Lo recuerdo, sí. Vino aquí hace un par de noches. Quería contratar mis servicios, ya sabe, pero dijo que no tenía efectivo, y que me pagaría con un rubí. Mire, yo no sé si ese pedrusco valía mucho o poco, pero me negué a aceptarlo por si acaso. Cuando lo rechacé se puso muy nervioso y salió pitando de aquí. Tan rápido se fue que se olvidó hasta de su valioso rubí. Siento que haya muerto, pero yo no sé nada del tema. No lo conocía de nada, y no lo había visto antes de aquella noche. ¿Qué cómo dio con mi dirección? Bueno, no hay que ser muy listo para responder a eso, agente.”

4° PROYECTO

Al parecer el señor Moreno reaccionó de forma extraña cuando Clara se negó a aceptar su rubí. Realiza un análisis para ver si encuentras algo extraño en él. Emplea, para ello, FRX, espectroscopía Raman y microscopía óptica. Además, los detectives han tomado muestras de tierra del coche de la señorita Vega.

- ¿Cuál ha sido el resultado? **El rubí es falso.**
- ¿Qué crees que puede indicar esto?



“¡Coincide! La tierra del coche es la misma que la de sus zapatos. Tenemos que volver a hablar con Clara Vega. Seguro que hay algo más que nos está ocultando.”



Eduardo: ¡¿Cómo que la firma es falsa?!
¡Imposible, José firmó el documento
delante de mí, le digo la verdad. ¿La noche
del 3 de junio? Puede que me confundiera
y no la pasara trabajando como dije, pero
yo no lo maté, ¡eso seguro!

SOSPECHOSOS

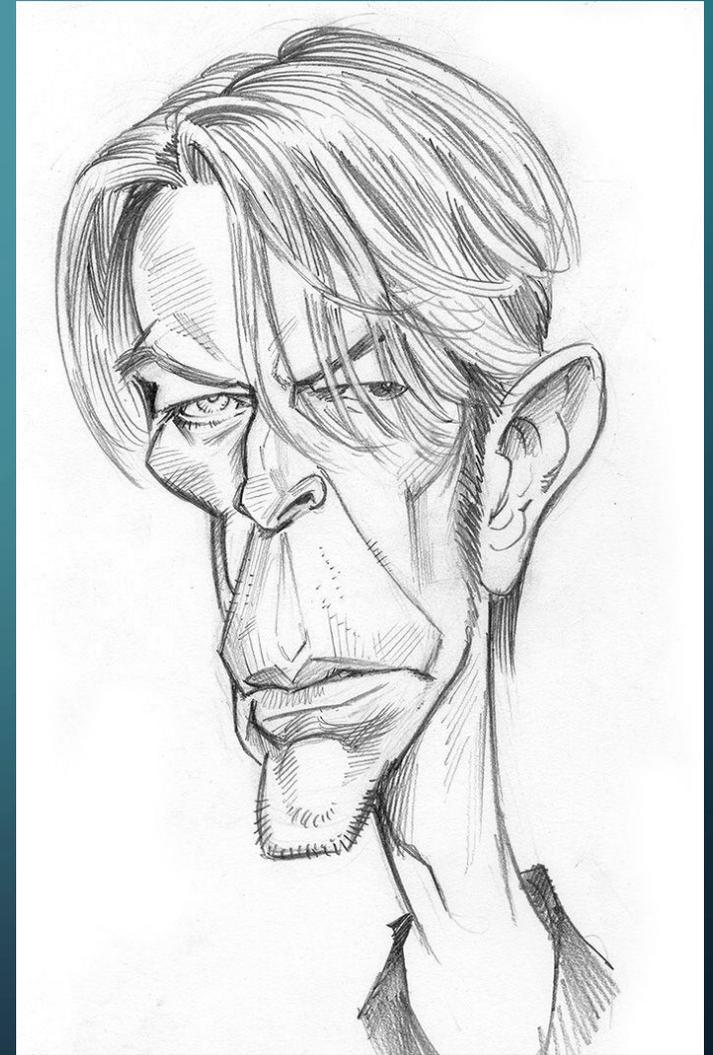
“Nuestros compañeros han realizado un 2º
interrogatorio a nuestros principales sospechosos
hasta el momento, y esto es lo que han obtenido:”

Clara: ¿Que por qué el coche tiene la misma
tierra que la de sus zapatos? Pues porque lo
seguí, por qué si no. Iba a devolverle su piedra
filosofal, pero cuando llegué allí no me gustó lo
que vi y me marché. “Que no se le hubiera
olvidado”, pensé. Claro que puedo darles la
dirección. Es un bareto de mala muerte. La
verdad es que me extrañó que un hombre tan
bien vestido fuera a parar allí, pero ya sabe, las
apariencias engañan.

FIDEL GARCÍA

“Fidel García es el dueño del bar al que acudió José Moreno horas antes de su muerte. Esto es lo que nos ha contado:”

“Sí, lo recuerdo. Ha estado unas cuantas veces en el bar, siempre en compañía de otro hombre. Es raro ver a alguien llevar traje por aquí, ¿sabe? No, su acompañante no parecía un hombre de negocios, aunque sin duda eran negocios lo que se traían entre manos. No se trataba de una charla distendida, como la que se tiene con un amigo. Era algo más sobrio. Esa noche, su reunión duró algo menos de lo habitual, y al acabar cada uno se fue por su lado. ¿Qué si conozco al hombre que iba con el señor Moreno? No se trata de un cliente habitual, pero tiene un aspecto peculiar. Además, me pareció ver que en su chaqueta tenía bordado el logo de una empresa de mensajería...”





RUTH TORRES

Fidel, el barista, ha descrito al acompañante de José un hombre robusto, alto y moreno. Con bigote y cara de pocos amigos. Además, todo parece indicar que trabaja en una empresa de mensajería cercana. Los investigadores se han pasado esta mañana por una de sus oficinas y esto es lo que les ha dicho la encargada:

“Hum, con esa descripción... podría tratarse de Alonso. Es bastante reservado, pero trabaja muy bien y nunca he visto un gesto extraño por su parte. De todos modos, pueden revisar su taquilla, por si encuentra algo que les sea de ayuda.”

5° PROYECTO

Nuestros compañeros han registrado la taquilla de Alonso Sanz y han encontrado allí una vieja cartera con un billete de 10€ de aspecto sospechoso. Analízalo para ver si se trata de un billete en curso legal o es una falsificación. Para ello, emplea FRX, espectroscopía Raman y microscopía óptica.

- ¿Cuál ha sido el resultado? **El billete es auténtico.**
- ¿Cómo podríamos saber que se trata de un billete falso?



6° PROYECTO



Junto con la cartera, Alonso también guardaba en su taquilla las llaves de un almacén cercano. Los investigadores han acudido y han encontrado varios paquetes de éxtasis escondidos en bidones de gasolina vacíos. Además, el billete de 10€ que analizamos contenía trazas de la misma droga. Analiza ambas muestras para ver si encuentras coincidencias. Utiliza FRX, microscopía óptica, espectroscopía Raman y, por último, DRX.

- ¿Cuál ha sido el resultado? **Ambas muestras están cortadas con talco.**
- ¿Qué nos indica esto?

ALONSO SANZ

“Durante el interrogatorio, Alonso se ha declarado inocente, pero en su casa se han encontrado varias bolsitas con rubíes del mismo aspecto que el que tenía Clara Vega. Además, en las ruedas de su furgoneta de reparto había restos de tierra como la que se encontró en el río y en los zapatos del señor Moreno.

- ¿Qué prueba esto?
- Con todos los datos recabados hasta ahora, ¿puedes conjeturar quién es el asesino de José Moreno?
- ¿En qué pruebas basas tu hipótesis?
- Termina la historia. Explica por qué crees que mintió Eduardo Martín en su declaración inicial y cuál es el vínculo que une a Alonso Sanz y a José Moreno.



¡CASO RESUELTO!



¡Enhorabuena, geólogo/a! Gracias a tu labor los investigadores han logrado resolver el caso. Contaremos contigo para próximos sucesos. ¡No pierdas de vista el teléfono!