

CARTOGRAFÍA CENTENARIA Y GEODESIA: UN ANÁLISIS STEAM DEL PATRIMONIO CIENTÍFICO-HISTÓRICO DEL IES "PEDRO ESPINOSA"

M^a Matilde Ariza Montes
IES "Pedro Espinosa". Antequera (Málaga)
Email: marimon043@g.educaand.es

1. RESUMEN

El siglo XIX representó la "Edad de Oro" de la cartografía científica. No sólo se buscaba representar el mundo, sino medirlo con una exactitud matemática sin precedentes. Este periodo marcó la transición de los mapas como obras de arte ilustradas a herramientas de precisión geométrica, impulsadas por la expansión de los imperios y la Revolución Industrial.

El perfeccionamiento de los métodos de representación y la instrumentación técnica para la elaboración de mapas en el siglo XIX, tales como el teodolito, el sextante y las nuevas técnicas de impresión litográfica, representó un avance crucial en el conocimiento geográfico. Estos avances no solo permitieron expandir los límites de la exploración terrestre y marítima, sino que también sentaron las bases para la cartografía científica moderna y la comprensión precisa de la morfología de nuestro planeta.

Dado que este periodo es clave para entender la transición hacia las tecnologías de geolocalización actuales, es procedente aprovechar la ocasión para sensibilizar al alumnado sobre la importancia y el impacto de la cartografía histórica y sus aplicaciones en la sociedad contemporánea. Para ello, se estudiarán los mapas desde el punto de la física y la química, permitiendo interpretar el territorio que habitamos y los océanos que nos rodean.

Esta investigación pone en valor los fondos históricos de cartografía del IES «Pedro Espinosa» para mostrar su influencia en la geografía global. El análisis revela cómo el estudio centenario del relieve y la corteza terrestre permitieron nuevas formas de representar el espacio. Estos avances fueron el cimiento de una visión revolucionaria del mundo físico que transformó, de forma definitiva, nuestra relación con la naturaleza

2. INTRODUCCIÓN

El siglo XIX marcó un hito en la historia de la cartografía al transformar el mapa de una expresión artística a un producto de la precisión industrial. Este periodo no solo estuvo definido por la expansión de las fronteras geográficas, sino por una profunda evolución en la física de la medición y la química de los materiales. La transición de la impresión calcográfica a la litografía masiva alteró la composición molecular de los soportes, introduciendo el uso de pulpas de madera ácidas y pigmentos sintéticos derivados de la incipiente química orgánica. Al estudiar estos mapas, nos enfrentamos a un equilibrio complejo entre la termodinámica de su conservación y las reacciones de oxidación-

reducción de sus tintas. Por tanto, analizar la cartografía decimonónica requiere una mirada interdisciplinaria que comprenda cómo la física óptica de los instrumentos de medición y la reactividad química de los nuevos tintes definieron la exactitud y la supervivencia de la memoria territorial del mundo moderno.

Considerando que el patrimonio documental de nuestros institutos históricos alberga una vasta colección de mapas del siglo XIX y principios del siglo XX, nuestra tarea se enfoca en el análisis físico-químico de sus soportes y pigmentos para comprender su evolución y asegurar su preservación.

En este sentido, el estudio de la cartografía decimonónica facilita al alumnado el conocimiento sobre la **óptica aplicada a la geodesia** y la **química de la coloración industrial**, permitiendo interpretar, por ejemplo, el relieve, las fronteras o las colonizaciones.

En la actualidad, el auge de la cartografía digital y los sistemas de información geográfica requiere no solo una gestión eficiente de los datos, sino una comprensión profunda de la materialidad que dio origen a esta tecnología. Al investigar las magnitudes físicas y los componentes químicos presentes en estos mapas centenarios, el alumnado toma conciencia del valor de este magnífico legado del IES “Pedro Espinosa”.

3. OBJETIVOS

- Transmitir la importancia de la física y la química en la cartografía.
- Analizar la cartografía del IES “Pedro Espinosa”.
- Impulsar la investigación STEAM a partir de la herencia cartográfica.
- Apoyar la inclusión, la igualdad y la diversidad.
- Desarrollar recursos didácticos basados en la ciencia de los mapas.
- Divulgar el patrimonio cartográfico y técnico en formatos diversos.
- Concienciar al alumnado sobre su papel como custodios del legado científico.

4. ANTECEDENTES HISTÓRICOS

La conmemoración del V Centenario de la muerte de Juan Sebastián Elcano en 2026, cuya gesta náutica permitió la primera representación global y empírica del mundo, así como el bicentenario del nacimiento de Francisco Coello de Portugal y Quesada en 2022, pionero de la cartografía moderna en España, y el bicentenario del nacimiento del General Carlos Ibáñez e Ibáñez de Ibero en 2025, figura fundamental para la cartografía científica española a nivel internacional, han propiciado indagar en la transición desde la exploración oceánica hasta la precisión métrica del territorio. Este marco histórico permite

contextualizar los avances técnicos actuales como herederos de una tradición de rigor geográfico y visión cosmográfica.

Aunque la cartografía científica moderna alcanzó su madurez hace poco más de un siglo, es cierto que conceptos como la proyección cilíndrica, la escala métrica y la precisión geodésica se explican basándose en la interacción de la geometría con el territorio, a partir de mapas y planos desarrollados de forma sofisticada. Sin embargo, todos ellos son fruto del desarrollo tecnológico de métodos diseñados hace centurias como la agrimensura, el uso de la brújula o la triangulación, que sirvieron de base al descubrimiento de las primeras leyes relacionadas con la representación de la Tierra.

Cabe mencionar al geógrafo y cartógrafo flamenco Gerardus Mercator **que** ideó la proyección de **Mercator (1569)**. Se trata de un mapa donde los meridianos son líneas verticales paralelas y los paralelos son líneas horizontales cuya distancia aumenta hacia los polos para preservar la proporcionalidad de las formas, sacrificando la escala de las superficies. Mantiene la fidelidad de los **ángulos** y las formas de los contornos pequeños, siendo las líneas de rumbo rectas, lo que permitía a los marinos navegar fijando un rumbo sencillo con la brújula.

Por otra parte, es imprescindible conocer la esfericidad terrestre como el desafío principal de nuestro sistema de representación, responsable de las distorsiones en el plano. Una forma de estudiar este reto es utilizando piezas centenarias presentes en los institutos históricos, como los globos terráqueos de relieve o las esferas armilares, que permitían comprender la mecánica celeste y su reflejo en el mapa.

La **brújula** es uno de los dispositivos ancestrales que condujo al desarrollo de la navegación precisa. Se trata de un instrumento magnetizado que permite la orientación mediante el campo magnético terrestre, aunque sus orígenes se remontan a la China antigua, fue el perfeccionamiento de su declinación lo que permitió a los cartógrafos del Renacimiento trazar los primeros portulanos fiables sobre pergamino.

Respecto a los soportes, se acepta como primer gran hito el uso del **papiro y el pergamino**, pero fue la invención del papel y, posteriormente, la **litografía** en el siglo XVIII por Alois Senefelder, lo que revolucionó la producción de mapas. Por su capacidad para reproducir detalles minúsculos mediante la repulsión química entre agua y grasa, la litografía permitió que los mapas dejaran de ser objetos de lujo para convertirse en herramientas técnicas de precisión, cambiando la textura y la química de las tintas utilizadas.

La invención del **teodolito** se le atribuye, en sus formas primigenias, a Leonard Digges en el siglo XVI, permitiendo medir ángulos horizontales y verticales con precisión. Varias décadas más tarde, el desarrollo de la lente de acromática permitió mejorar notablemente los instrumentos de observación, lo que llevó a los geógrafos a realizar mediciones sobre el terreno tan exactas que dieron lugar a los grandes Mapas Topográficos Nacionales, de ahí que este periodo se considere el padre de la geodesia moderna.

Desde que Gerardus Mercator revolucionara la forma de proyectar el mundo y los científicos del siglo XVIII determinaran la forma exacta del elipsoide terrestre, la cartografía perseguía representar la realidad física con rigor matemático. Lo consiguió el desarrollo de la **química industrial** en el siglo XIX, que permitió la creación de tintas sintéticas estables y papeles de pulpa de madera, proporcionando las herramientas esenciales para explorar y delimitar el mundo con una fidelidad técnica que hoy es la base de nuestra herencia científico-histórica.

5. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

Esta investigación surge por el compromiso de seguir poniendo en valor el patrimonio científico-histórico del IES “Pedro Espinosa” a partir no solo de los trabajos que se realizan en clase sino a través del Proyecto **MUVIPA**, endémico de nuestro instituto y enfocado a nuestro patrimonio, y al Programa **Vivir y Sentir el Patrimonio**, aprobado por la Junta de Andalucía para el curso 2025/2026, en el que participa alumnado de la ESO y Bachillerato.

Para celebrar la importancia de la evolución tecnológica y de materiales, la propuesta investigadora se focalizó en los mapas y documentos cartográficos, tan imprescindibles en la actualidad por sus aplicaciones no sólo geográficas, sino también por la ciencia de materiales y la astronomía. Como nuestra herencia científica data de finales del siglo XIX y principios del siglo XX, el estudio se ha basado en la detección de la **cartografía centenaria** que alberga el IES “Pedro Espinosa”.

Se inició con el estudio de la composición química y los materiales de nuestra cartoteca, que data del último cuarto del siglo XIX y principios del siglo XX.

Durante el siglo XIX y principios del XX, las casas cartográficas de prestigio como Justus Perthes, Freytag-Berndt y el Instituto Geográfico Gaebler perfeccionaron el uso de pigmentos derivados de la incipiente industria química. En sus mapas, la vibrante gama cromática se lograba mediante la combinación de tintes tradicionales de origen mineral, como el azul de Prusia y el ocre, con las nuevas anilinas sintéticas que permitían una transparencia ideal para la litografía y cromolitografía. Editoriales como Louis Delagrave en Francia o Luis Vives en España emplearon estos pigmentos para diferenciar fronteras

mediante delicadas aguadas o sombreados orográficos de gran precisión. Por su parte, el Instituto Geográfico Nacional de España y el Instituto Geográfico de Agostini destacaron por la estandarización de colores: verdes profundos para llanuras y marrones de siena para relieves, aplicados con aglutinantes que garantizaban la durabilidad contra la humedad. Estos pigmentos no solo poseían un valor estético excepcional, sino que estaban diseñados para resistir la decoloración por luz solar, permitiendo que la cartografía escolar y científica mantuviera su legibilidad. La transición del coloreado a mano a la impresión mecánica en estas editoriales marcó una era donde la química del color se puso al servicio de la exactitud geográfica y la belleza visual.

Para el estudio de la **óptica aplicada a la cartografía**, se focalizó a los distintos colores utilizados en los mapas y se estudió si se cumplía el Teorema de los cuatro colores, que establece que cualquier mapa geográfico puede colorearse con sólo cuatro colores diferentes de modo que ninguna región adyacente comparta el mismo color. Fue formulado por Francis Guthrie en 1852 mientras coloreaba un mapa de los condados de Inglaterra, observando que bastaban cuatro colores para diferenciar regiones colindantes. Este problema matemático desafió a expertos durante más de un siglo, siendo finalmente demostrado mediante ordenador en 1976.

En los mapas del cartógrafo francés Louis Delagrave, se siguió la Ley de la Claridad, utilizando tres colores para eliminar ruido, enfocar la soberanía y hacer la técnica de impresión más económica.

Destacar la Técnica de la Lupa, que mostraba zonas que tienen una importancia histórica o geográfica superior al resto del mapa como se puede apreciar en el mapa de *Palestina en la antigüedad*.

Considerando que la Tierra como superficie geométrica, la cartografía científica modeliza la superficie terrestre mediante un sistema de coordenadas basado en Latitud y Longitud, que determinan la posición de cualquier punto sobre el globo terráqueo. Estas coordenadas se estructuran a partir de una red de Paralelos y Meridianos, cuya intersección genera una cuadrícula geográfica utilizada como referencia para la medición y la representación cartográfica

Al igual que se exploró el rango de latitudes y longitudes en cada mapa, pudiendo analizar los valores de cada uno de las zonas seleccionadas para poder contrastarlas con sus valores reales, se utilizó en el análisis cartográfico la técnica que consiste en dividir el mapa en una retícula de rectángulos definidos por intervalos regulares de latitud y longitud. Cada uno de estos rectángulos corresponde, en realidad, a un cuadrilátero curvilíneo sobre la superficie terrestre delimitado por dos paralelos y dos meridianos.

Para el cálculo del cuadrante o celda en cada mapa, lo que se requiere considerar es que, aunque la Tierra es un esferoide, la mayoría de las proyecciones cartográficas de la época trataban de lidiar con la convergencia de los meridianos. A diferencia de un plano simple, en este tipo de representación cartográfica, los meridianos se acercan a medida que se acercan a los polos, por lo que el ancho de un cuadrante disminuye con la latitud.

Para calcular el área de una celda, no basta con multiplicar "largo por ancho" como en un cuadrado plano, se necesita usar la diferencia de los senos de las latitudes para compensar cómo se encoge la Tierra hacia los polos. Así, si se mira un mapa plano (como la famosa proyección de Mercator), parece que Groenlandia es igual de grande que África pero, en realidad, conforme se acerca a los polos, los meridianos se van cerrando hasta tocarse. Por eso, una "celda" de 1 grado por 1 grado es enorme en el ecuador y diminuta cerca del polo.

Si se tiene en cuenta una celda definida por una diferencia de latitud ($\Delta\phi$) y una diferencia de longitud ($\Delta\lambda$), el área A se calcula de la siguiente forma:

$$A = R^2 \cdot \Delta\lambda \cdot (\sin \phi_2 - \sin \phi_1)$$

Siendo:

- R: Radio de la Tierra (promedio de 6,371 km).
- ϕ_1 y ϕ_2 : Latitudes norte y sur de tu celda.
- $\Delta\lambda$: Ancho de la celda en longitud (en radianes).

6. METODOLOGÍA

Se llevó a cabo una revisión de la de la cartografía del IES "Pedro Espinosa", su estado de conservación, sus características, sus autores, su procedencia, sus dimensiones.

El trabajo continuó con una indagación bibliográfica sobre los fondos cartográficos en el IES "Pedro Espinosa", permitiendo tanto de la composición de la materia como la precisión geométrica de las proyecciones.

Una vez identificados estos ejemplares de la transición entre los siglos XIX y XX, se examinaron sus propiedades físicas destacando la latitud y la longitud, el rango, el intervalo o el color, y la materialidad como los pigmentos utilizados, las telas empleadas, los soportes de refuerzo o las maderas, incluso las metodologías de trazado.

Igualmente se hizo hincapié en la procedencia y los autores, pudiéndose apreciar en la gráfica 1 la nacionalidad de las Casas cartográficas, siendo las alemanas las más antiguas del siglo XIX y las españolas las más numerosas en los centros educativos a partir de los años 40 del siglo XX.

Posteriormente, se ha diseñado una ficha técnica a cada uno de los mapas, que permite integrar numerosas características de los mismos. De esta forma, se ha detallado el tipo de mapa, el título original, las dimensiones, la datación, el rango de latitud y longitud, los elementos representados, la leyenda, los colores o los materiales entre otros, para que la comunidad educativa y los lectores online comprendan las posibilidades didácticas que tienen los mapas centenarios a partir de las nuevas tecnologías. Esta información se puede consultar en el Museo Virtual del Patrimonio del IES “Pedro Espinosa” (MUVIPA), disponible en el enlace <https://museovirtualiespedroespinosa.blogspot.com/search/label/Cartograf%C3%A1Da>.



Gráfica 1. Nacionalidades de las Casas cartográficas

En cada fase del proyecto, se partió de una inspección minuciosa de los mapas originales para comprender los principios químicos que los rigen y las pruebas que podían derivarse de ellos. Por ello, la investigación se volcó en la ciencia de los materiales y la geometría descriptiva, aplicando conceptos de química analítica y física mecánica para desentrañar la fabricación de este legado.

Los resultados de estas experiencias se plasmaron en paneles informativos de carácter científico, presentados en el VI Congreso INDICA+, celebrado en las dependencias del IES “Pedro Espinosa” el 28 de abril de 2026. A cada estudiante involucrado se le encomendó el seguimiento de una variable

específica, requiriendo la toma de datos tanto en el laboratorio como en su entorno personal. Por su parte, la experimentación con los modelos caseros fue desarrollada por los alumnos adscritos al Programa “Vivir y Sentir el Patrimonio”.

7. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

De acuerdo con la estructura de este trabajo, la Tabla 1 detalla la variedad de materiales cartográficos examinados, cuya suma asciende a un total de 38 unidades catalogadas. El análisis revela que el fondo de cartografía histórica cuenta con una treintena de mapas antiguos de dimensiones considerables. Cabe señalar que ciertos ejemplares muestran signos de deterioro físico u oxidación, por lo que requieren una intervención de restauración urgente para garantizar su conservación.

Es importante destacar que **Hermann Haack**, trabajando para la editorial Justus Perthes, fue uno de los pioneros en estandarizar la **escala hipsométrica** (altura) y **batimétrica** (profundidad). Su objetivo era que, incluso desde el fondo de un salón de clases, los alumnos pudieran identificar el relieve de un vistazo. Se puede apreciar los colores utilizados en sus mapas en la tabla 1, donde también se informa de la función visual dependiendo de la altura o la profundidad. La estética de Haack se convirtió en el estándar de la cartografía educativa alemana, donde el color no era un mero adorno, sino una herramienta de jerarquización de la información. Al combinar una saturación visual potente con una tipografía sobria, sus mapas lograban un equilibrio perfecto entre arte y técnica geográfica. El legado cromático de Haack influyó en la percepción visual de la geografía para generaciones de estudiantes en toda Europa.

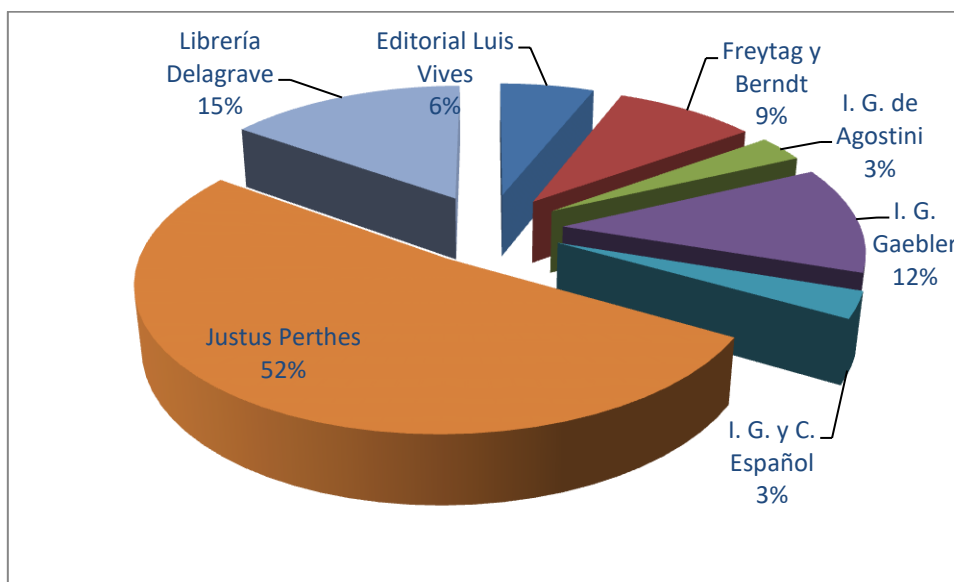
Rango de Altitud (m) / Profundidad (m)	Color Característico	Función Visual
>5.000	Marrón rojizo oscuro o Púrpura	Cumbres más altas y sistemas alpinos.
2.000 a 5.000	Marrón intenso / Siena	Cordilleras y grandes sistemas montañosos.
500 a 2.000	Marrón claro / Ocre	Mesetas, macizos antiguos y zonas de transición.
200 a 500	Amarillo pálido / Crema	Colinas, tierras altas y piedemontes.
0 a 200	Verde claro o amarillento	Llanuras, cuencas fluviales y zonas costeras.
0 (Nivel del Mar)	Blanco o línea de costa definida	Punto de referencia de la línea de base.
0 a -200	Azul pálido / Celeste	Plataforma continental (aguas poco profundas).
-200 a -2.000	Azul medio	Talud continental y zonas de transición marina.
<-2.000	Azul ultramar / Oscuro	Cuencas oceánicas y fosas marinas profundas.

Tabla 1. Colores utilizados en los mapas físicos de Hermann Haack

Los mapas de la casa **Delagrave** destacan por una estética francesa sumamente elegante, caracterizada por el uso de tonos pastel y aguadas cromáticas suaves que priorizan la claridad tipográfica. A diferencia de la saturación alemana, emplean verdes menta y amarillos sutiles o rosas para delimitar fronteras, logrando una armonía visual que facilita la lectura de la red urbana y los accidentes geográficos. Esta paleta refinada no solo servía para la instrucción académica, sino que convertía a la cartografía en una pieza de alto valor artístico y decorativo. Se pueden observar en los mapas de Las Cruzadas o los Mundos árabe, griego y romano.

En el caso de la cartografía española de **Luis Vives (Edelvives)**, la elección cromática no era solo estética, sino una herramienta de jerarquización. Al ser una editorial con una fuerte vocación pedagógica y religiosa, sus mapas debían ser claros, casi "limpios", para que el alumno no se perdiera entre los accidentes geográficos. Así, por ejemplo, el mar no es profundo como los mapas alemanes sino azul cian suave, que se aclaraba casi hasta el blanco al acercarse a la costa para resaltar el perfil de la Península Ibérica. Fue muy común el uso de líneas de color (fajas) en tonos rosáceos, lilas y naranjas para delimitar las provincias. En el relieve, utilizaban un verde botella para las zonas bajas y un marrón tabaco para las cordilleras.

Examinando la gráfica 2, se puede apreciar el porcentaje de la presencia de cada una de las empresas que contribuyeron a la cartografía del IES "Pedro Espinosa", pudiendo observar que a Justus Perthes suma más de la mitad de los mapas centenarios de este legado.



Gráfica 2. Porcentaje de las empresas presentes en la cartografía del IES "Pedro Espinosa"

8. CONCLUSIONES

La conmemoración de varias efemérides cartográficas ha permitido profundizar en el conocimiento de los fondos documentales y los mapas históricos, herencia del legado del IES "Pedro Espinosa".

Gracias a estos ejemplares únicos, ha sido posible explorar cómo la geografía se entrelaza con diversas ramas de la ciencia. El estudio ha profundizado en las leyes físicas y matemáticas que rigen la creación de mapas, integrando además una perspectiva química sobre los materiales utilizados en la elaboración de la cartografía producida durante el siglo XIX y los albores del siglo XX."

El trabajo conjunto en el estudio de fuentes originales y la creación de investigaciones sobre mapas ha supuesto un fuerte impulso para el modelo STEAM. Mediante la interpretación de variables altimétricas y batimétricas, el alumnado no solo ha evaluado cómo ha cambiado nuestro entorno, sino que ha participado en un proceso pedagógico basado en la equidad y la pluralidad. Así, han logrado comprender que la cosmovisión decimonónica fue el primer paso hacia el mundo interconectado en el que vivimos hoy.

9. AGRADECIMIENTOS

Mi gratitud más sincera para el alumnado del Programa "Vivir y Sentir el Patrimonio", impulsado por la Junta de Andalucía, así como para los estudiantes de las áreas de Física y Química junto a Geografía e Historia. El compromiso mostrado en sus investigaciones sobre la cartografía ha sido el verdadero motor de este proyecto. Sin sus estudios y su capacidad de análisis colectivo, este trabajo no habría sido posible.

10. BIBLIOGRAFÍA

ARIZA MONTES, M. M. (2015) *Museo Virtual del IES "Pedro Espinosa, Antequera (Málaga), España*. Disponible en el enlace <http://museovirtualiespedroespinosa.blogspot.com/>. Consultado el 27 de abril de 2026.

International Cartographic Association (ICA) (2015). *El mundo de los mapas*. ICA. Basilea. Disponible en el enlace <https://mapyear.icaci.org/el-mundo-de-los-mapas/> . Consultado el 25 de abril de 2026.

Instituto Geográfico Estadístico (1970). *Cien Años del Instituto Geográfico Nacional (1870-1970)*. Instituto Geográfico Nacional (IGN). Madrid. Diponible en el enlace <https://www.ign.es/web/ign/portal>. Consultado el 19 de marzo de 2026.