



**CENTRO DE FÍSICA**  
Universidad Central del Ecuador

ISSN: 3103-1323

# Praxis

Revista del  
Centro de Física-UCE

Número 7

Quito - Ecuador  
Agosto-2025



CENTRO DE FÍSICA  
Universidad Central del Ecuador

# Praxis

Revista del  
Centro de Física-UCE

## CONSEJO EDITORIAL

### EDITOR EN JEFE

- MSc. Ricardo Defas – Universidad Central del Ecuador, [rddfas@uce.edu.ec](mailto:rddfas@uce.edu.ec)

### EDITOR ACADÉMICO

- MSc. Sebastián Guerrero – Universidad Central del Ecuador, [saguerrero@uce.edu.ec](mailto:saguerrero@uce.edu.ec)

### EDITORES DE SECCIÓN

- MSc. Jorge Oswaldo Chamarro Alvear – Universidad Central del Ecuador, [jochimarro@uce.edu.ec](mailto:jochimarro@uce.edu.ec)
- MSc. Washington Patricio Lomas Arciniega – Universidad Central del Ecuador, [wplomas@uce.edu.ec](mailto:wplomas@uce.edu.ec)
- Ing. Felipe Josué Lima Alvear – Universidad Central del Ecuador, [fjlima@uce.edu.ec](mailto:fjlima@uce.edu.ec)
- Ing. Everzon Feiner Domínguez Castillo – Universidad Central del Ecuador, [efdominguez@uce.edu.ec](mailto:efdominguez@uce.edu.ec)
- MSc. Chaluiza Charro Elizabeth Vanesa, Universidad Central del Ecuador, [evchaluiza@uce.edu.ec](mailto:evchaluiza@uce.edu.ec)

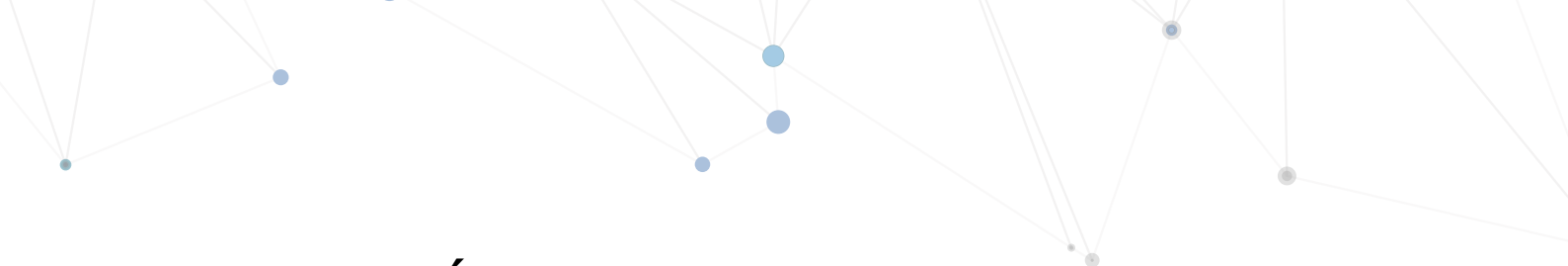
### REVISORES INTERNOS Y EXTERNOS

- Ph.D. José Solano - Institute of Physics of the Czech Academy of Sciences, [jose.solano@fzu.cz](mailto:jose.solano@fzu.cz)
- Ph.D. Guillermo Rubén Terán Acosta - Universidad Central del Ecuador, [grteran@uce.edu.ec](mailto:grteran@uce.edu.ec)
- Ph.D. Christian Alcocer - Universidad Regional Amazónica Ikiam, [christian.alcocer@ikiam.edu.ec](mailto:christian.alcocer@ikiam.edu.ec)
- Ph.D. Diego Marcelo Tipán Rengifo - Universidad Central del Ecuador, [dmtipanr@uce.edu.ec](mailto:dmtipanr@uce.edu.ec)
- Ph.D. (c) Nicolas Gonzales - Karlsruhe Institute of Technology, [nicolas.gonzalez2@kit.edu](mailto:nicolas.gonzalez2@kit.edu)



Diagramación y Maquetación  
Centro de Física  
Universidad Central del Ecuador

Av. América - Ciudadela Universitaria CP: 170521, Quito - Ecuador.



# INTRODUCCIÓN

Con gran satisfacción, anunciamos a nuestros lectores que la **Revista Praxis** del Centro de Física ha obtenido oficialmente su **Número Internacional Normalizado de Publicaciones Seriadas** (ISSN 3103-1323), otorgado por la Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación (SENESCYT). Este hito nos acerca a la meta de la indexación y fortalece nuestro compromiso con la difusión rigurosa y accesible del conocimiento científico. Este logro es fruto del esfuerzo constante de nuestro equipo editorial, autores y colaboradores, quienes día a día contribuyen a consolidar este espacio académico y de divulgación.

Continuando con nuestro compromiso por la divulgación y el fortalecimiento del conocimiento en física y educación, en nuestra séptima edición presentamos una selección diversa de artículos que reflejan el dinamismo y la riqueza de esta disciplina desde distintos enfoques. En la sección **Actualidad**, se resalta la importancia de la propiedad intelectual y la innovación, con especial atención al trabajo del grupo FISLAB, que impulsa la virtualización de prácticas de laboratorio, beneficiando a miles de estudiantes.

En **Enseñando Física**, se propone una metodología constructivista para potenciar el aprendizaje experimental, fortaleciendo habilidades y pensamiento crítico entre estudiantes universitarios.

La sección **Laboratorio en Acción** ofrece una guía práctica para la determinación del coeficiente de rozamiento estático, combinando teoría y práctica en un experimento que permite una comprensión profunda de un fenómeno físico fundamental.

En **Física a través del Tiempo**, recorremos el legado de Evangelista Torricelli y su experimento con mercurio, que revolucionó el concepto de vacío y sentó las bases para la meteorología moderna.

La sección de **Divulgación Científica** explora la historia del descubrimiento del electrón y los fenómenos eléctricos y magnéticos, mostrando cómo la curiosidad ancestral se ha convertido en ciencia moderna.

Finalmente, en **Ventana al Universo de la Física**, presentamos un fascinante avance del CERN, donde la transmutación de plomo en oro simboliza la conexión entre la alquimia antigua y la física nuclear contemporánea, un paso más en la comprensión del universo.

En **Praxis** agradecemos profundamente a quienes han hecho posible esta edición e invitamos a nuestros lectores a explorar, compartir y enriquecer este espacio de conocimiento. Asimismo, extendemos una cordial invitación a la comunidad académica nacional e internacional a presentar sus trabajos de divulgación en física teórica y experimental, en todos sus niveles, para fortalecer juntos la ciencia y la educación.

**¡Que la curiosidad y el rigor científico guíen siempre nuestro camino!**



SECCIÓN 1  
**ACTUALIDAD**

## SEMANA DE LA PROPIEDAD INTELECTUAL 2025: INNOVACIÓN Y RECONOCIMIENTOS EN LA UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR <sup>1</sup>

La Universidad Central del Ecuador vivió una jornada memorable durante la celebración de la “Semana de la Propiedad Intelectual”, evento que tuvo lugar el 30 de abril de 2025 en el Auditorio Máster del Centro de Información Integral. Esta iniciativa, impulsada por la Dirección de Doctorados e Innovación junto al Centro de Apoyo a la Tecnología e Innovación – CATI, buscó visibilizar la importancia de la creatividad y la protección de las ideas como motores esenciales del desarrollo científico, académico y cultural.



**Figura 1** Autoridades universitarias e invitados especiales durante la ceremonia de la Semana de la Propiedad Intelectual 2025 (Centro de Física, 2025).

La conmemoración se alineó con el Día Mundial de la Propiedad Intelectual, dedicado en esta ocasión a reflexionar sobre cómo los derechos de propiedad intelectual fomentan un entorno que permite que la música, la ciencia y la tecnología beneficien a las comunidades a escala global. El acto contó con la presencia de las máximas autoridades de la universidad, así como representantes del Servicio Nacional de Derechos Intelectuales (SENADI) y del CATI, quienes resaltaron el compromiso institucional con la innovación y la transferencia de conocimiento. En este contexto, la Universidad Central del Ecuador reafirmó su voluntad de reconocer el esfuerzo de

docentes, estudiantes e investigadores que, con su talento, han contribuido al prestigio universitario.

### ¿Qué es la propiedad intelectual?

La propiedad intelectual (PI) se refiere al conjunto de derechos legales que protegen las creaciones del intelecto humano. Esto incluye inventos, obras literarias y artísticas, símbolos, nombres e imágenes utilizados en el comercio. En el contexto universitario, la PI es fundamental porque otorga reconocimiento legal a las innovaciones desarrolladas por investigadores, docentes y estudiantes, asegurando que estas no puedan ser utilizadas sin su consentimiento. Según la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI), “la propiedad intelectual fomenta la innovación al garantizar que los creadores puedan beneficiarse de su trabajo sin temor a que otros lo copien sin permiso” (OMPI, s.f.).

### Reconocimientos otorgados

Durante el acto, se entregaron distinciones a un nutrido grupo de profesionales provenientes de diversas facultades y carreras. Entre los homenajeados se encontraron docentes de la Carrera de Medicina de la Facultad de Ciencias Médicas; de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables; de la Carrera de Computación; de Estadística y de Economía; así como representantes de la Facultad de Ingeniería Química y de la Carrera de Diseño Industrial Rediseño. También se reconoció el trabajo desarrollado en la Carrera de Agronomía, que, junto con otras unidades académicas, evidencia el carácter multidisciplinario de la creación y la innovación en la Universidad Central del Ecuador, consolidando la sinergia entre diferentes áreas del conocimiento.

<sup>1</sup> Autor: MSc. Washington Lomas A.



**Figura 2** Fotografía de la entrega de reconocimientos durante la Semana de la Propiedad Intelectual (Investigación e Innovación UCE, 2025).

Uno de los momentos más significativos de la ceremonia fue la mención especial al grupo **FISLAB**, perteneciente al Centro de Física de la Universidad. Este equipo ha liderado el desarrollo de una innovadora plataforma de virtualización de prácticas de laboratorio en física experimental. Mediante el uso de simuladores web, aplicaciones interactivas y herramientas de modelado computacional, **FISLAB** permite que los estudiantes realicen experimentos desde cualquier lugar, utilizando solo un dispositivo con conexión a internet. La plataforma incluye módulos sobre mecánica, electricidad, óptica y termodinámica, alineados con los programas académicos de las carreras. El grupo de trabajo está conformado por un equipo multidisciplinario de investigadores del Centro de Física, entre quienes se destacan: Daniel Ronquillo, Daniela Tupiza, Eddy Sánchez, Everzon Domínguez, Felipe Lima, Luis Domínguez y Wladimir Vilca.

Gracias a su esfuerzo conjunto, la plataforma ha beneficiado a miles de estudiantes de diversas facultades en el último año, optimizando recursos y democratizando el acceso a herramientas de aprendizaje de calidad. Además de mejorar los indicadores de participación en prácticas académicas, el uso de FISLAB ha contribuido significativamente a la comprensión de conceptos complejos,

especialmente en entornos con limitaciones de infraestructura.



**Figura 3** Fotografía de la entrega de reconocimientos al grupo de trabajo que conforma FISLAB durante la Semana de la Propiedad Intelectual (Investigación e Innovación UCE, 2025).

El proyecto FISLAB no solo fue reconocido por las autoridades universitarias, sino también por representantes del SENADI y del CATI, quienes destacaron su impacto en la consolidación de una cultura de innovación con enfoque educativo. Este logro ejemplifica cómo el trabajo colaborativo, la investigación aplicada y la pasión por la enseñanza pueden materializarse en propuestas con efecto real en la comunidad académica.

En la convocatoria oficial, se subrayó que este tipo de reconocimientos constituyen un estímulo para continuar apostando por la creatividad como eje estratégico de la universidad. Asimismo, se hizo extensiva la invitación a los estudiantes que acompañaron a sus docentes durante la creación de estos proyectos, recordando que su aporte ha sido fundamental para la obtención de los registros de propiedad intelectual.

La Semana de la Propiedad Intelectual 2025 concluyó con un mensaje de optimismo y responsabilidad compartida: la convicción de que la protección de las ideas y el incentivo a la innovación constituyen un deber y un derecho de todos quienes

forman parte de la comunidad universitaria. En este sentido, FISLAB se alinea con los objetivos estratégicos de la universidad, al fomentar la investigación pedagógica, el uso de nuevas tecnologías y el acceso equitativo al conocimiento, reforzando así el compromiso institucional con la excelencia académica y la inclusión educativa.

## Referencias

- Investigación e Innovación - UCE. (2025, abril 30). Fotografía de la entrega de reconocimientos durante la Semana de la Propiedad Intelectual [Fotografía]. Facebook. [https://www.facebook.com/100076227104486/posts/689668190250745/?\\_rdr](https://www.facebook.com/100076227104486/posts/689668190250745/?_rdr)
- Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI). (s.f.). ¿Qué es la propiedad intelectual?. <https://www.wipo.int/about-ip/es/>
- Centro de Física - UCE. (2025, abril 30). Fotografía de la entrega de reconocimientos durante la Semana de la Propiedad Intelectual [Fotografía]. Facebook. <https://www.facebook.com/FisicaUce/>





SECCIÓN 2  
**ENSEÑANDO FÍSICA**

# ENSEÑANZA DE LA FÍSICA EXPERIMENTAL DESDE UN ENFOQUE CONSTRUCTIVISTA <sup>2</sup>

## Resumen

La enseñanza de la Física experimental enfrenta limitaciones cuando se basa exclusivamente en modelos tradicionales sustentados en guías de laboratorio estandarizadas, ya que estos restringen el desarrollo del pensamiento crítico y la participación activa del estudiante. Frente a esta situación, el enfoque constructivista propone una metodología centrada en la experimentación y en la construcción activa del conocimiento. Este artículo presenta una propuesta metodológica con enfoque constructivista, implementada en el Centro de Física de la Universidad Central del Ecuador, con la participación de 110 estudiantes de distintas carreras. A través de una encuesta estructurada en tres dimensiones —**comprensión conceptual, habilidades experimentales y valoración metodológica**— se evidenció que más del 75 % de los participantes mejoró significativamente su comprensión de los fenómenos físicos. Los resultados revelaron avances notables en el análisis de errores experimentales, la autonomía en el aprendizaje y una marcada preferencia por este modelo activo en comparación con el enfoque tradicional.

**Palabras Clave:** enfoque constructivista, enseñanza de la física

## Introducción

Navarro (2020) señala que la enseñanza de la Física experimental representa un reto pedagógico al requerir la integración de lo teórico y lo práctico para comprender fenómenos del mundo natural. Esta perspectiva se ve reforzada por Gil-Pérez (2006), quien propone que el laboratorio debe concebirse como un espacio de descubrimiento. Sin embargo, los modelos tradicionales de enseñanza-aprendizaje utilizados hasta la actualidad —centrados en la ejecución de guías estandarizadas— limitan la participación activa de los estudiantes y obstaculizan el desarrollo de su pensamiento científico. En esta línea, diversos estudios destacan la necesidad de enfoques heurísticos que favorezcan la construcción activa del

conocimiento mediante la formulación de hipótesis, el análisis de variables y la interpretación de resultados (Jara, 2005; Riveros, 2019; Macedo, 2016). En este contexto, este artículo propone una metodología de enseñanza con enfoque constructivista, en la que el estudiante aprende activamente a través de la interacción con su entorno, la observación y la reflexión. Esta propuesta se plantea como una alternativa viable para fomentar aprendizajes significativos y superar las limitaciones del modelo tradicional.

## Metodología

**Diseño:** El diseño de esta propuesta metodológica se llevó a cabo mediante un análisis univariante descriptivo proyectivo, que consta de ocho etapas que integran trabajo grupal e individual.

**Aplicación:** Esta metodología se implementó de forma semanal, durante un periodo académico de cuatro meses, a una muestra de 110 estudiantes de los primeros niveles de Física de distintas carreras de la Universidad Central del Ecuador.

**Evaluación:** El impacto de la metodología fue evaluada mediante un instrumento tipo encuesta que consta de 12 ítems con escala Likert distribuida en tres dimensiones: comprensión conceptual, habilidades experimentales, y valoración metodológica. El instrumento está validado de acuerdo con la metodología propuesta por Escobar-Pérez & Cuervo-Martínez (2008) —expertos en didáctica de la Física— que muestra un nivel adecuado de consistencia interna.

**Análisis de resultados:** Los datos fueron procesados mediante análisis descriptivo (frecuencias y porcentajes) utilizando software estadístico SPSS 22.

A continuación, se presenta la secuencia de las nueve etapas que conforman esta propuesta metodológica.

## <sup>2</sup> Autores:

- MSc. Vanesa Chaluiza
- MSc. Jorge Chimarro
- MSc. Washington Lomas

### 1. Inducción al experimento

En esta etapa inicial se presenta a los estudiantes el contexto del fenómeno a estudiar, se recuerdan los objetivos de la práctica y se activan conocimientos previos. Su propósito es preparar y motivar a los participantes para una comprensión más profunda del experimento.

### 2. Contextualización del experimento

Los estudiantes relacionan los fenómenos físicos con situaciones reales que sean significativas y comprensibles. Según Gallegos (2021), contextualizar fenómenos físicos en situaciones cotidianas mejora la motivación en el aprendizaje. Esto les permite reflexionar sobre posibles dificultades, introduciendo así la noción de incertidumbre experimental, fundamental para el desarrollo de competencias científicas (Martínez-Pérez et al., 2023; Guisasola et al., 2020).

### 3. Planteamiento de hipótesis

Aquí, los estudiantes deben elaborar una hipótesis con base en los objetivos de la práctica, lo que promueve un aprendizaje activo y estimula el razonamiento lógico, en coherencia con los principios del aprendizaje por indagación y el enfoque constructivista. Según Rodríguez (2022), la formulación de hipótesis es fundamental para el desarrollo del pensamiento científico desde etapas tempranas.

### 4. Identificación del equipo experimental

En esta fase, los estudiantes reciben los equipos necesarios para la experimentación, y deben identificar y describir la función de cada uno. Esto promueve una visión de la instrumentación como un componente activo del proceso científico. Cuando la complejidad o el nivel de riesgo lo requieren, se incluye una demostración del montaje por parte del instructor.

### 5. Planteamiento de procedimiento experimental

Los estudiantes diseñan y aplican, de manera autónoma, el procedimiento experimental conforme a los objetivos planteados para la práctica. En esta etapa se fomenta el trabajo en equipo, la aplicación ordenada del método científico y el desarrollo de competencias para la planificación y ejecución de experimentos.

### 6. Identificación de variables y recopilación de datos

El grupo de trabajo identifica las variables dependientes e independientes que intervienen en el experimento. Luego, de forma autónoma,

debe generar una hoja de registro de datos compuesta principalmente por tablas que incluya las variables medidas, sus unidades, columnas para los datos experimentales y espacio para cálculos adicionales. Según Núñez-López (2017), esta actividad fomenta la capacidad de planificación y la sistematicidad científica.

### 7. Análisis preliminar de datos

En esta fase, los estudiantes realizan una revisión inicial de los datos obtenidos en el experimento. Esto implica verificar la coherencia de los datos y la presencia de patrones esperados, así como identificar posibles errores y valores atípicos. De manera general, se observa el comportamiento de las variables antes de proceder a un análisis más profundo.

### 8. Análisis e interpretación de resultados

El grupo de trabajo procesa y analiza formalmente los datos obtenidos. Estos resultados no solo permiten aceptar o rechazar la hipótesis planteada inicialmente, sino que también facilitan la extracción de conclusiones fundamentales sobre la experimentación del fenómeno estudiado.

Para ello, es común que los estudiantes elaboren representaciones gráficas que evidencien la relación entre las variables. Con esta actividad se fortalece la comprensión conceptual al permitir visualizar tendencias, calcular pendientes, interpretar áreas bajo la curva y comparar los resultados experimentales con modelos teóricos.

### 9. Evaluación o retroalimentación final

La etapa final de la práctica está destinada a la evaluación individual del estudiante. Esta evaluación es realizada por el instructor de laboratorio y permite medir el aprendizaje individual, valorando cuánto ha comprendido y aplicado el estudiante respecto a los objetivos de la práctica. El objetivo de esta evaluación es valorar tanto los conocimientos adquiridos como la capacidad de reflexión, argumentación e interpretación autónoma.

De forma general, para las nueve etapas que conforman esta metodología, el instructor de laboratorio brindará orientación ante cualquier dificultad o inconsistencia que se presente durante el proceso, procurando mantener un equilibrio entre el apoyo y la autonomía del estudiante. Una comunicación abierta y una supervisión constante permiten que el laboratorio se consolide como un espacio de

aprendizaje significativo y colaborativo, en coherencia con los enfoques constructivista y socio constructivista propuestos por Jean Piaget y Vygostky (1978).

### Ejecución del Diseño Metodológico

Las actividades de esta metodología se planificaron para desarrollarse en un lapso de 115 minutos (1 hora y 55 minutos), conforme al cronograma presentado en la Tabla 1. Esta distribución considera que cada sesión de práctica experimental tiene una duración total de dos horas.

**Tabla 1.** Distribución de las actividades experimentales según el tiempo estimado y el tipo de trabajo.

| Actividades                                            | Tiempo         | Tipo de trabajo |
|--------------------------------------------------------|----------------|-----------------|
| 1. Inducción al experimento                            | 15 min         | Grupal          |
| 2. Contextualización del experimento                   | 10 min         | Grupal          |
| 3. Planteamiento de hipótesis                          | 10 min         | Grupal          |
| 4. Identificación del equipo experimental              | 65 min         | Grupal          |
| 5. Planteamiento de procedimiento experimental         |                | Grupal          |
| 6. Identificación de variables y recopilación de datos |                | Grupal          |
| 7. Análisis preliminar de datos                        |                | Grupal          |
| 8. Análisis e interpretación de resultados             |                | Grupal          |
| 9. Evaluación o retroalimentación final                | 15 min         | Individual      |
| <b>Tiempo total</b>                                    | <b>115 min</b> |                 |

Es importante enfatizar que el trabajo verdaderamente significativo es aquel que se realiza de manera activa y colaborativa durante la práctica experimental. Se considera que el aprendizaje se consolida en el espacio del laboratorio a través de la experiencia directa, el análisis y la reflexión in situ.

#### Resultados

Para evaluar la efectividad de la metodología propuesta, se aplicó una encuesta a los participantes al final del periodo académico. Esta encuesta estuvo estructurada en tres dimensiones:

- Comprensión conceptual
- Desarrollo de habilidades experimentales, y
- Valoración metodológica.

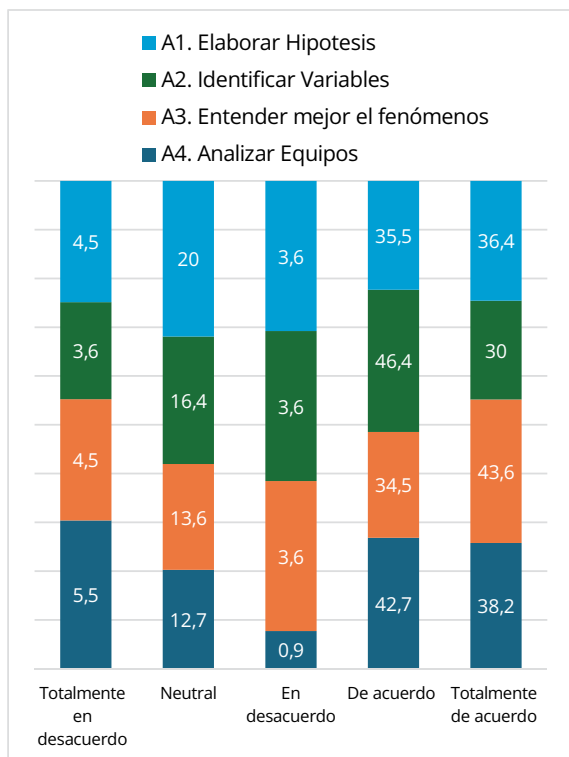
A continuación, se presentan los resultados obtenidos en cada una de estas dimensiones.

#### Dimensión 1: Comprensión conceptual

Esta dimensión implica evaluar si el estudiante fue capaz de entender los principios fundamentales del fenómeno físico estudiado (Dalgarno & Lee, 2010). Las variables asociadas a esta dimensión son:

- **A1.** La elaboración de hipótesis antes de la práctica me ayudó a comprender mejor los conceptos físicos involucrados
- **A2.** Al identificar las variables independiente y dependientes, comprendí mejor la relación entre las magnitudes físicas
- **A3.** Entendí mejor el fenómeno físico realizando el experimento con esta metodología
- **A4.** Entendí mejor el fenómeno físico al analizar algunos elementos de los equipos experimentales

Los resultados presentados en la Figura 1 muestran que más del 71 % de los estudiantes lograron una mejor comprensión del fenómeno estudiado al elaborar una hipótesis previa e identificar las variables involucradas en el experimento. Además, el 78,1 % manifestó haber comprendido mejor los fenómenos físicos al aplicar esta metodología, y el 80,7 % alcanzó una mayor comprensión al explorar y manipular directamente los equipos de experimentación, sin la intervención directa de sus instructores.



**Figura 1** Evaluación del nivel de comprensión conceptual bajo una metodología de aprendizaje constructivista. Los resultados evidencian una mejor comprensión del fenómeno físico al elaborar hipótesis, identificar variables y manipular los equipos sin la intervención directa del instructor.

Este elevado nivel de valoración positiva evidencia una clara aceptación de la metodología basada en un enfoque constructivista. Estos hallazgos coinciden con lo planteado por Rodríguez Guevara y Avendaño Upegui (2022), quienes afirman que las etapas previas a la experimentación, como la formulación de hipótesis, la identificación de variables contribuyen significativamente al fortalecimiento del pensamiento científico desde las primeras fases del proceso experimental.

## Dimensión 2: Desarrollo de habilidades experimentales

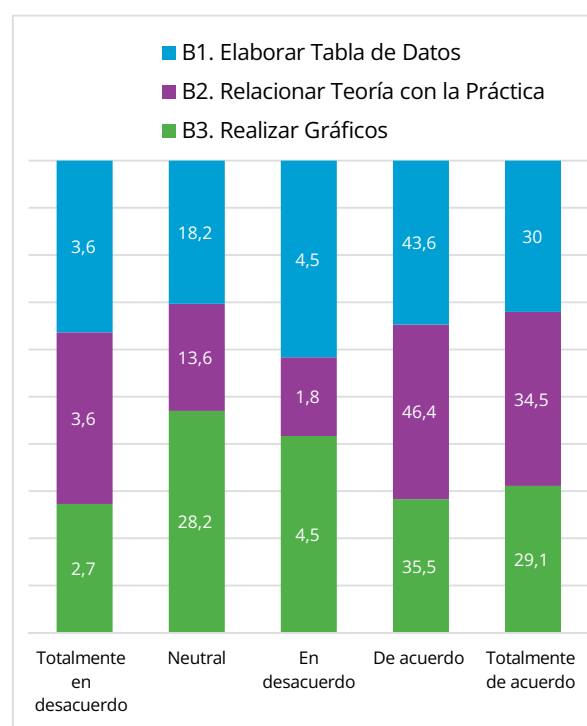
En esta dimensión se evalúa que el estudiante adquiera destrezas fundamentales para desenvolverse en un entorno científico. Esto incluye la capacidad de organizar y gestionar datos de forma autónoma, aplicar conocimientos teóricos en contextos prácticos, y realizar un análisis crítico de los resultados obtenidos. A través del uso de herramientas básicas como tablas, cálculos y gráficas, el

estudiante construye una comprensión más profunda de los fenómenos físicos y fortalece su pensamiento científico.

Las variables asociadas a esta dimensión se describen a continuación:

- **B1.** Elaborar mi propia tabla de datos me ayudó a organizar mejor la información
- **B2.** Aplicar los cálculos durante la práctica me permitió relacionar los datos experimentales con las fórmulas teóricas
- **B3.** Realizar el análisis gráfico me facilitó visualizar las relaciones entre las variables

Los resultados de la Figura 2 muestran que el 73,6 % de los estudiantes valoró positivamente elaborar sus propias tablas, evidenciando una apropiación activa en la recolección de datos. Asimismo, el 80,9 % destacó que aplicar cálculos durante la práctica facilitó la conexión entre teoría y experimentación, y el 64,6 % consideró útil el análisis gráfico para visualizar relaciones entre variables. Esta metodología ha demostrado ser efectiva, ya que —como afirman Acosta-Fernández y Espinosa-Viteri (2022)— el trabajo colaborativo impulsa el análisis, la discusión y la formulación de conclusiones, favoreciendo la comprensión del fenómeno físico. En este contexto, la participación activa en la organización, análisis y representación de datos fortalece habilidades experimentales y cognitivas clave para el aprendizaje de la Física.



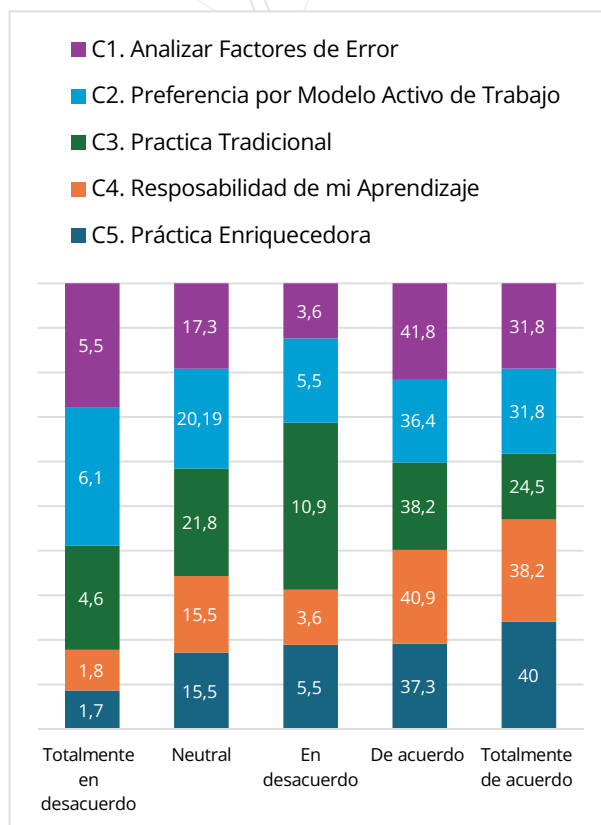
**Figura 2.** Valoración del desarrollo de habilidades experimentales en los estudiantes, tales como la organización y gestión de datos, la aplicación de cálculos para relacionar teoría y práctica, y el análisis gráfico para visualizar relaciones entre variables. Estos resultados evidencian la efectividad de una metodología constructivista para fortalecer las habilidades experimentales en un entorno científico.

### Dimensión 3. Valoración Metodológica

En esta dimensión se evalúa la percepción que tienen los estudiantes sobre la metodología de enseñanza utilizada, incluyendo aspectos como la claridad, la participación, la responsabilidad y la efectividad del modelo de aprendizaje. Esta valoración permite medir la aceptación y el impacto de esta metodología en el proceso formativo. Las variables asociadas a este eje se muestran a continuación:

- **C1.** En la nueva metodología analicé con mayor claridad los posibles factores de error experimental
- **C2.** Prefiero este modelo activo de trabajo en futuras prácticas de laboratorio
- **C3.** La práctica tradicional — solo siguiendo la guía de laboratorio — no me permite entender el fenómeno
- **C4.** En este modelo, tuve mayor responsabilidad sobre mi propio aprendizaje
- **C5.** Considero que esta forma de realizar las prácticas es más enriquecedora, que solo seguir una guía de laboratorio paso a paso

De acuerdo a los resultados de la Figura 3, el 77,3 % de los estudiantes consideró la práctica activa más enriquecedora que la tradicional, y el 79,1 % asumió mayor responsabilidad en su aprendizaje. Además, el 67,2 % prefirió este modelo para futuras prácticas. Aunque algunos creen que la práctica tradicional es más fácil, el 62,7 % reconoció comprender menos los fenómenos con ese método. Un 73,6 % valoró mejor el análisis de errores con la nueva metodología, que, según Buenaño et al. (2023), fomenta un aprendizaje participativo, crítico y autónomo.



**Figura 3.** Resultados de la valoración estudiantil sobre la metodología activa frente a la tradicional en prácticas de laboratorio. Se observa una preferencia significativa por el modelo activo, asociado a una mayor responsabilidad y comprensión del aprendizaje, así como una mejor valoración del análisis de errores

### Conclusiones

En síntesis, los resultados permiten concluir que la incorporación de estrategias constructivistas en las prácticas de laboratorio de Física favorece un aprendizaje significativo, mayor autonomía y una comprensión conceptual más profunda. Este hallazgo responde positivamente a los objetivos del estudio, demostrando la efectividad de una propuesta metodológica centrada en la elaboración de hipótesis, la identificación de variables y el análisis crítico de resultados.

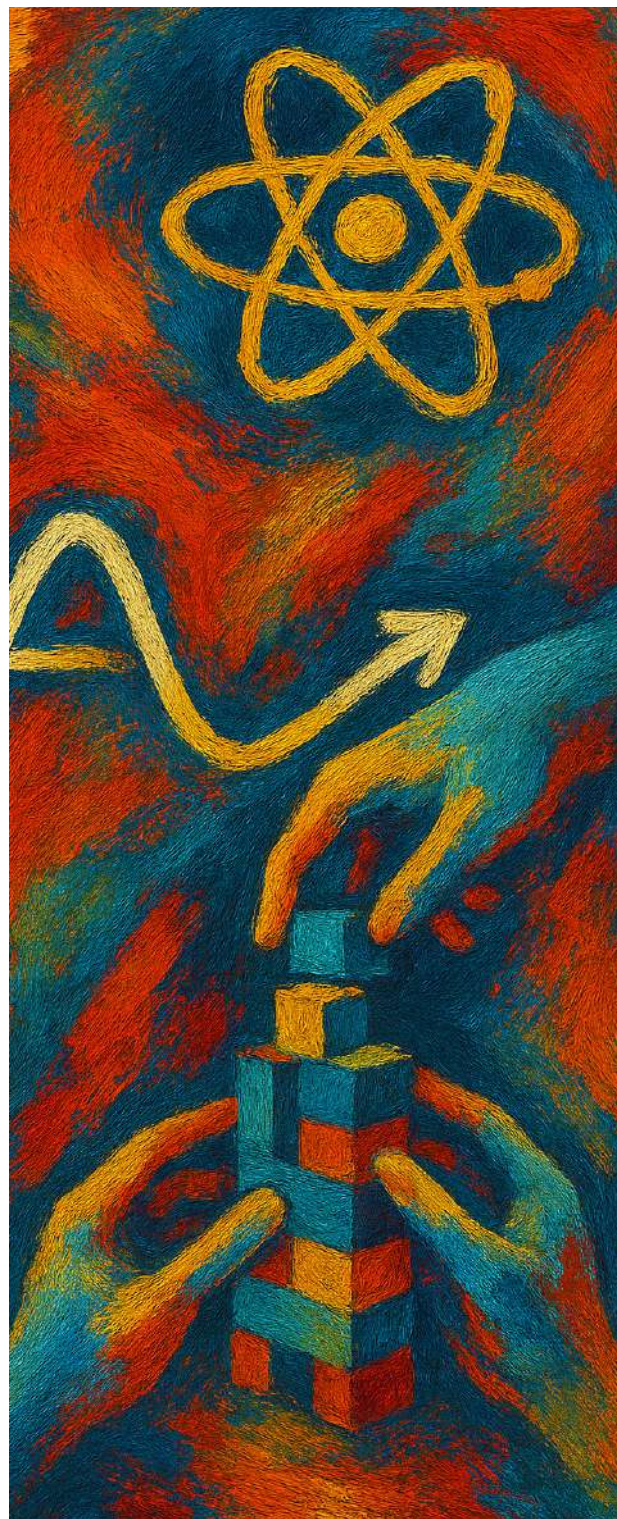
Más del 75 % de los estudiantes valoró favorablemente esta metodología, destacando una mejor comprensión de los fenómenos físicos, una visualización más clara de las relaciones entre variables y una participación más activa en su proceso de aprendizaje. Asimismo, se evidenció una preferencia generalizada por este modelo activo frente al tradicional, basado exclusivamente en guías estandarizadas.

Por tanto, se concluye que la aplicación de estrategias constructivistas en el laboratorio no solo mejora la comprensión conceptual, sino que también fortalece el pensamiento crítico, la motivación y la formación científica integral de los estudiantes.

Como proyección, se recomienda replicar esta propuesta en diversos cursos de Física y evaluar su impacto a largo plazo en el desarrollo de competencias científicas. Además, futuras investigaciones podrían profundizar en la relación entre metodologías activas y variables como la motivación intrínseca, la autogestión del aprendizaje y el rendimiento académico.

## Referencias

- Acosta-Fernández, R. L., & Espinosa-Viteri, M. E. (2022). Fortalecimiento del aprendizaje de la física a través del trabajo colaborativo en el laboratorio experimental. *Formación Universitaria*, 17(1), 139–150.
- Arias Navarro, E., & Arguedas-Matarrita, C. (2020). El trabajo experimental en la enseñanza de la Física en tiempos de pandemia mediante el uso de la aplicación II Ley de Newton en la UNED de Costa Rica. *Innovaciones Educativas*, 22(supl.1), 103–114.
- Dalgarno, B., & Lee, M. J. W. (2010). ). What are the learning affordances of 3-D virtual environments? *British Journal of Educational Technology*, 41(1), 10-32. <https://bera-journals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1467-8535.2009.01038.x>
- Domínguez, A., & Arumí, M. (2015). La evaluación para el aprendizaje de la interpretación de conferencias.
- Espinosa-Ríos, E. A., González-López, K. D., & Hernández-Ramírez, L. T. (2016). Las prácticas de laboratorio: una estrategia didáctica en la construcción de conocimiento científico escolar. *Entramado*, 12(1). <https://doi.org/10.18041/entramado.2016v12n1.23125>
- Gallegos, A., Campos, M., & Moreno, M. (2021).
- Núñez-López, S., Ávila-Palet, J.-E., & Olivares-Olivares, S.-L. (2017). El desarrollo del pensamiento crítico en estudiantes universitarios por medio del Aprendizaje Basado en Problemas. *Revista Iberoamericana de Educación Superior*, 8(23), 84–103.
- Gil, D. (2005). Sobre las actividades de laboratorio en Física.
- Jara, S. (2005). Investigación en la enseñanza de la física. *Revista Electrónica Sinéctica*, 3–12.
- Macedo, B., & De Montevideo, O. (2016). Educación científica.
- Riveros, H. G. (2019). Enseñanza de la física experimental I. INTRODUCCIÓN. *Am. J. Phys. Educ*, 13(1), 1–6.

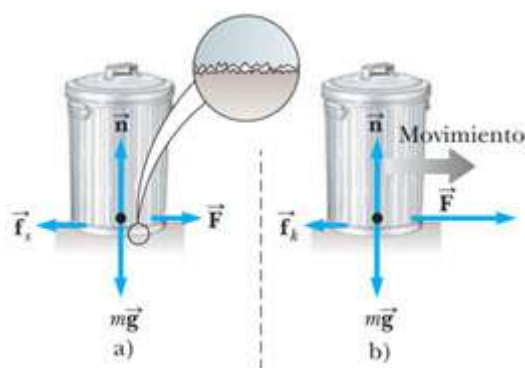




SECCIÓN 3  
**LABORATORIO EN  
ACCIÓN**

## EXPLORANDO LA FRICCIÓN ESTÁTICA: COEFICIENTE DE ROZAMIENTO ENTRE SUPERFICIES EN CONTACTO <sup>3</sup>

Cuando un cuerpo en reposo intenta desplazarse sobre una superficie, encuentra una resistencia inicial al movimiento como resultado de la interacción entre ambos materiales. Esta resistencia es explicada por la fuerza de fricción, y más específicamente, por el coeficiente de rozamiento estático ( $\mu_e$ ). Este parámetro adimensional permite cuantificar la magnitud de la fuerza necesaria para iniciar el deslizamiento de un objeto.



**Figura 1.** Para desplazar el bote de basura sobre una superficie rugosa, es necesario aplicar una fuerza  $\mathbf{F}$  que supere la fuerza de fricción estática máxima  $\mathbf{f}_s$  generada en el contacto entre ambas superficies. Una vez vencida esta resistencia, el objeto puede moverse con mayor facilidad (Serway & Jewett, 2008, p. 120).

La fuerza de fricción estática se origina debido a la rugosidad inherente de las superficies en contacto. Aunque visualmente puedan parecer lisas, a nivel microscópico presentan irregularidades que generan puntos de contacto reales solo en ciertas zonas. En estos puntos, las asperezas de ambos materiales interactúan, creando un bloqueo mecánico que dificulta el inicio del movimiento, como se muestra en la vista ampliada de la Figura 1a.

El coeficiente de rozamiento estático es una magnitud fundamental para analizar la interacción entre superficies bajo distintas

condiciones: cuando los objetos están en reposo o al iniciar el movimiento. Su estudio permite comprender fenómenos prácticos como el funcionamiento de los sistemas de frenado en los automóviles o el diseño de neumáticos. Según Serway y Jewett (2008, p. 120), este coeficiente se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\mu_e = \frac{f_s}{n}$$

Donde  $\mathbf{f}_s$  es la fuerza de fricción estática máxima — la que evita que el cuerpo se mueva — y  $\mathbf{n}$  es la fuerza normal ejercida por la superficie de apoyo.

En este contexto, el experimento presentado a continuación, tiene como objetivo determinar el coeficiente de fricción estático  $\mu_e$  entre diferentes combinaciones de materiales mediante métodos de plano inclinado y superficie horizontal. Además, se analiza la dependencia de  $\mu_e$  con la masa del sistema. Se plantea como hipótesis que  $\mu_e$  depende exclusivamente de las características de las superficies en contacto y no de la masa del cuerpo.

### Referencias:

- Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2008). Física para ciencias e ingeniería (7.ª ed., Vol. 1). Cengage Learning. Recuperado de <http://www2.fisica.unlp.edu.ar/materias/fisgenl/T/Libros/Serway-7Ed.pdf>

<sup>3</sup> Autores:

- MSc. Diego Tipán
- MSc. Ricardo Defas
- Tnlgo. Fernando Siza

## TEMA: COEFICIENTE DE RESTITUCIÓN

### OBJETIVOS

1. Determinar experimentalmente el coeficiente de rozamiento estático ( $\mu_e$ ) entre distintas combinaciones de superficies en contacto.
2. Verificar experimental si el coeficiente de rozamiento estático varía con la masa del cuerpo de prueba.

### EQUIPO DE EXPERIMENTACIÓN

1. Pista de rozamiento de acero con tornillo de regulación
2. Taco de rozamiento de cuatro caras: Cartón, corosil, formica y aluminio
3. Portamasas y masas calibradas
4. Balanza digital  
 $A \pm \text{----}()$ .
5. Transportador  
 $A \pm \text{----}()$ .
6. Seis esferas de diferente material



**Figura 2.** Equipos para determinar el coeficiente de rozamiento estático

### LECTURAS RECOMENDADAS

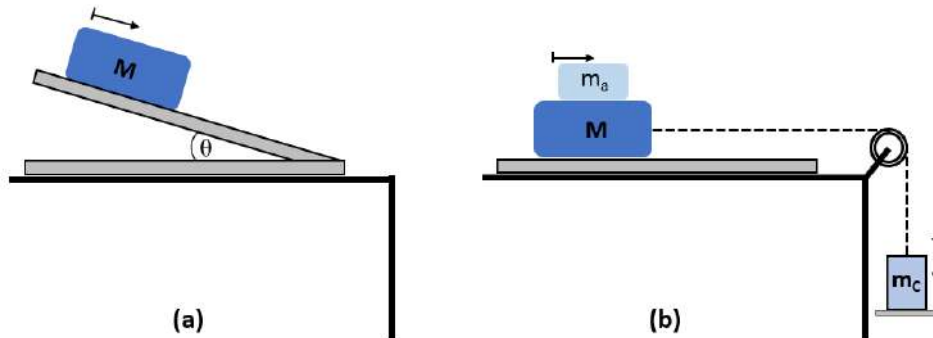
- Fuerza de fricción: Definición general y tipos. Factores que afectan la fuerza de fricción.
- Coeficiente de rozamiento estático: Definición y significado físico.

## PROCEDIMIENTO

### Método 1. Plano inclinado

REGISTRE TODAS LAS MEDICIONES SOLICITADAS EN LA TABLA 2.

1. Ensamble el equipo experimental según el esquema mostrado en la Figura 3a. Coloque la cara del taco de rozamiento recubierta con fórmica en contacto directo con la superficie de acero. Asegúrese de que todas las superficies estén completamente limpias, eliminando polvo, grasa o cualquier impureza que pueda afectar las condiciones de fricción.
2. Incremente gradualmente la inclinación de uno de los extremos del plano hasta observar el momento exacto en que el taco inicia su movimiento sin intervención externa. Se considera que el taco inicia su movimiento cuando se observa desplazamiento continuo tras un instante de quietud sin vibración previa.
3. Usando un transportador mida y registre en la Tabla 1 el ángulo de inclinación ( $\theta$ ) correspondiente al inicio del deslizamiento. Este ángulo se denomina "ángulo crítico".
4. Repita los pasos 2 y 3 por dos ocasiones más.
5. Repita los pasos 2 a 4 para las otras caras del taco de rozamiento.



**Figura 3.** Montajes experimentales para determinar el coeficiente de rozamiento estático: (a) plano inclinado; (b) superficie horizontal con masa variable sobre el

### Método 2. Superficie horizontal

REGISTRE TODAS LAS MEDICIONES SOLICITADAS EN LA TABLA 2.

1. Determine la masa del taco de rozamiento ( $M$ ) utilizando la balanza digital.
2. Ensamble el equipo experimental siguiendo el esquema de la Figura 3b. Coloque la cara del taco recubierta con fórmica sobre la superficie de acero. Considere que:
3. El portamasas no contiene masa alguna
4. La masa añadida sobre el taco  $m_a$  es cero
5. Por tres veces consecutivas, incremente progresivamente la masa del portamasas ( $m_c$ ) utilizando masas calibradas, hasta identificar el instante preciso en que el taco inicia su movimiento.
6. Repita el paso 3 para valores de masa añadida sobre el taco de rozamiento ( $m_a$ ) de 100g y 200g

## REGISTRO DE DATOS

**Tabla 1. Plano inclinado**

| Nº | Superficies      | $\theta_1$ | $\theta_2$ | $\theta_3$ | $\mu_e = \bar{\mu}_e \pm \Delta\mu_e$ |
|----|------------------|------------|------------|------------|---------------------------------------|
|    |                  | (°)        | (°)        | (°)        | -                                     |
| 1  | Formica – Acero  |            |            |            |                                       |
| 2  | Cartón – Acero   |            |            |            |                                       |
| 3  | Corosil – Acero  |            |            |            |                                       |
| 4  | Aluminio – Acero |            |            |            |                                       |

**Tabla 2. Superficie horizontal**

| Superficie: ..... M = ..... (Kg) |       |          |          |          |                                       |
|----------------------------------|-------|----------|----------|----------|---------------------------------------|
| Nº                               | $m_a$ | $m_{c1}$ | $m_{c2}$ | $m_{c3}$ | $\mu_e = \bar{\mu}_e \pm \Delta\mu_e$ |
| 1                                | (Kg)  | (Kg)     | (Kg)     | (Kg)     | -                                     |
| 2                                | 0.000 |          |          |          |                                       |
| 3                                | 0.100 |          |          |          |                                       |
| 4                                | 0.200 |          |          |          |                                       |
| <b>Promedio</b>                  |       |          |          |          |                                       |

## ANÁLISIS EXPERIMENTAL

Con los datos obtenidos en la Tabla 1:

1. A partir de la Segunda Ley de Newton y con base en el diagrama de la Figura 3a, derive la expresión para determinar el coeficiente de fricción estático:

$$\mu_e = \tan(\theta)$$

2. Para cada superficie, determine el valor experimental del coeficiente de fricción estático y su incertidumbre asociada  $\mu_e = \bar{\mu}_e \pm \Delta\mu_e$ , considerando la propagación de errores a partir de las variables medidas experimentalmente.

Con los datos obtenidos en la Tabla 2:

3. Aplicando la Segunda Ley de Newton y con base en el diagrama de la Figura 3b, derive la expresión:

$$\mu_e = \frac{m_c}{M + m_a}$$

### ANÁLISIS EXPERIMENTAL

4. Para cada masa adicional  $m_a$ , determine el valor experimental del coeficiente de fricción estático y su incertidumbre asociada  $\mu_e = \overline{\mu_e} \pm \Delta\mu_e$ , considerando la propagación de errores a partir de las variables medidas experimentalmente. Finalmente, calcule un solo valor para de  $\mu_e$ .
5. ¿El valor del  $\mu_e$  varió significativamente al modificar la masa sobre el taco?

#### Comparación de los métodos:

6. ¿Cuál de los dos métodos experimentales (plano inclinado o superficie horizontal) considera más adecuado para determinar el coeficiente de rozamiento estático? Justifique su respuesta en términos de facilidad de medición y fuentes de error.
7. Calcule la diferencia porcentual entre los valores de  $\mu_e$  obtenidos con ambos métodos para Formica –Acero. ¿A qué puede deberse esta diferencia?

### BIBLIOGRAFÍA

- Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2008). Física para ciencias e ingeniería (7.<sup>a</sup> ed., Vol. 1). Cengage Learning. Recuperado de <http://www2.fisica.unlp.edu.ar/materias/fisgenI/T/Libros/Serway-7Ed.pdf> (consultado el 10 de julio de 2025)

#### Contribuciones de los autores (según CRediT):

- **MSc. Diego Tipán:** Conceptualización, metodología, supervisión, redacción – revisión y edición
- **MSc. Ricardo Defas:** Metodología, investigación, validación, redacción – borrador original
- **Tnlgo. Fernando Siza:** Validación, recursos



SECCIÓN 4

# **LA FÍSICA A TRAVÉS DEL TIEMPO**

## CUANDO LA NATURALEZA DEJÓ DE TEMERLE AL VACÍO: EL EXPERIMENTO DE TORRICELLI Y EL NACIMIENTO DE LA PRESIÓN ATMOSFÉRICA <sup>4</sup>



**Figura 1.** Evangelista Torricelli (1608-1647) con el barómetro de mercurio, instrumento con el que demostró la existencia de la presión atmosférica.

Durante siglos, la filosofía natural estuvo dominada por la idea de que la naturaleza aborrece el vacío. Esta idea, heredada de Aristóteles, no era solo una metáfora: representaba una de las convicciones más arraigadas en la física antigua. Según este pensamiento, era imposible que existiera un espacio completamente vacío, ya que la naturaleza, en su supuesto equilibrio, siempre encontraría la forma de llenarlo, ya fuera con aire, agua u otro material. A este principio se le conocía como *horror vacui* (Arenzana, 2018).

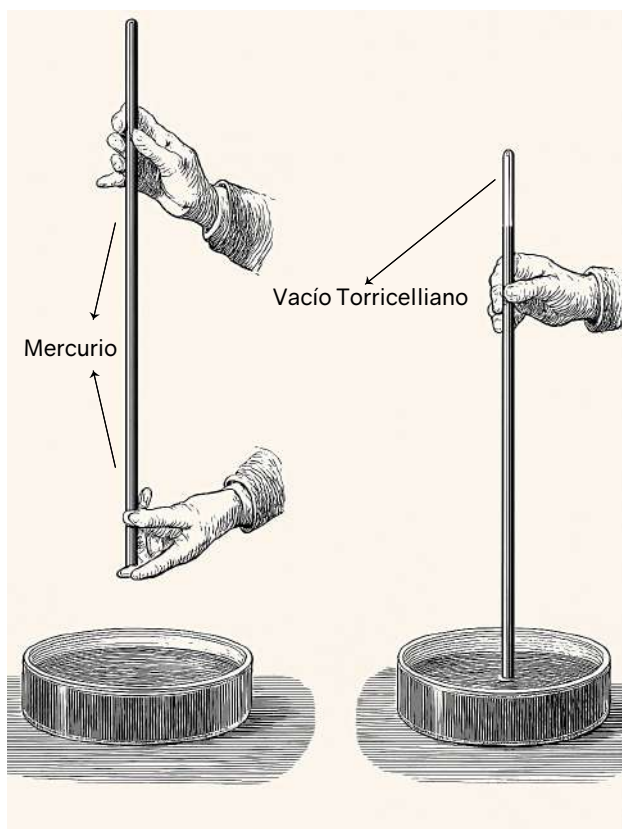
Esta creencia tenía efectos prácticos en la vida cotidiana. Un ejemplo muy conocido fue el problema que enfrentaron los artesanos y constructores en Italia a comienzos del siglo XVII, cuando intentaban extraer agua de pozos profundos utilizando bombas de succión, un dispositivo cuyo diseño se

atribuye a Galileo Galilei. Estas bombas creaban un vacío y lograban que el agua ascendiera; sin embargo, había un límite que nadie lograba superar, sin importar cuánta fuerza se aplicara: el agua no subía más allá de unos 10 metros de altura (Tomé, 2014). ¿Por qué ocurría esto? ¿qué impedía que la naturaleza continuara haciendo su trabajo?

Fue entonces cuando entró en escena **Evangelista Torricelli**, un joven matemático y físico italiano, quien en 1641 fue invitado a trabajar como asistente del ya anciano Galileo en la Universidad de Florencia. Además de ser un apasionado de las matemáticas puras, Torricelli había dirigido gran parte de sus investigaciones hacia el estudio del comportamiento de los fluidos y los fenómenos atmosféricos, motivado por las preguntas prácticas y teóricas que surgieron en su época en torno al vacío y a la presión del aire.

En 1643, al tratar de comprender por qué el agua en la bomba diseñada por Galileo dejaba de ascender, Torricelli decidió reemplazarla por un líquido mucho más denso: el mercurio. La lógica era simple pero ingeniosa: si el problema era el peso de la columna de líquido, un material más pesado permitiría observar el mismo fenómeno en una escala más manejable.

El experimento fue tan sencillo como revolucionario. Torricelli llenó un tubo de vidrio de un metro de longitud con mercurio, tapó un extremo, lo invirtió cuidadosamente y sumergió el extremo abierto en un recipiente también lleno de mercurio. Al destapar el extremo sumergido, observó que el mercurio dentro del tubo descendía, pero solo hasta cierto punto, dejando en la parte superior un espacio vacío, sin aire ni otro fluido visible (Williams, 2015). Sin proponérselo del todo, Torricelli había creado el primer vacío artificial en laboratorio: el famoso vacío torricelliano.



**Figura 2.** Representación del experimento de Torricelli, considerado el primer barómetro de la historia y base para la medición de la presión atmosférica. El término barómetro proviene del griego *baros* (peso) y *metron* (medida). Pero la verdadera genialidad de Torricelli no estuvo únicamente en crear un vacío visible, sino en atreverse a interpretar correctamente lo que ocurría. En lugar de atribuirlo a una fuerza misteriosa, observó que la altura del mercurio no dependía del largo del tubo, sino del comportamiento físico del sistema. Observó que la columna se detenía siempre a una cierta altura, sin importar la longitud del tubo, lo que lo llevó a una conclusión revolucionaria: el mercurio se sostenía gracias a la presión ejercida por el aire de la atmósfera sobre la superficie del recipiente. Con esta explicación, rompió con siglos de pensamiento filosófico y sentó las bases de una física experimental guiada por la observación (Pérez, 2005). Con este razonamiento nació el concepto moderno de presión atmosférica, definida como la fuerza que ejerce la columna de aire de la atmósfera sobre la superficie terrestre en un punto determinado (Significados, 2020). Este experimento no solo refutó la idea aristotélica de que el

vacío no podía existir, sino que transformó la manera de comprender la interacción entre la atmósfera y los fluidos. A partir de su trabajo, surgió el primer barómetro, que permitió medir la presión del aire mediante la altura de una columna de mercurio.



**Figura 3.** Barómetros antiguos utilizados para medir la presión atmosférica, inspirados en el diseño original de Torricelli.

Con el tiempo, este invento se perfeccionó y se convirtió en una herramienta esencial para la predicción meteorológica y el estudio del clima. La importancia del legado de Torricelli fue tal que, siglos después, se decidió nombrar una unidad de presión en su honor: el torr. Por definición, un torr equivale exactamente a la presión ejercida por una columna de mercurio de un milímetro de altura bajo condiciones atmosféricas normales. Es decir,  $1 \text{ torr} = 1 \text{ mmHg}$  (milímetro de mercurio). Esta unidad se utiliza especialmente en contextos donde se trabaja con presiones bajas o en estudios de vacío, como en laboratorios de física o en procesos industriales (Helmenstine, 2025).

El trabajo de Torricelli nos muestra que la ciencia avanza cuando alguien se atreve a pensar distinto y a poner a prueba lo que muchos dan por hecho. Su aporte sigue siendo un ejemplo de cómo el conocimiento se construye paso a paso, con observación, preguntas y evidencia. Porque la ciencia es eso: un proceso continuo de descubrimiento, donde cada avance, como el de Torricelli, abre el camino para lo que viene después.

## Referencias

- Arenzana, V. (mayo de 2018). Aristóteles, Torricelli, Pascal, El horror al vacío y la presión atmosférica. Obtenido de VicMat: <https://vicmat.com/aristoteles-torricelli-pascal-horror-al-vacio-la-presion-atmosferica/#:~:text=El%20horror%20vacui%20permit%C3%ADa%20interpretar,a%20no%20dejar%20espacios%20vac%C3%ADos.>
- Helmenstine, A. M. (09 de junio de 2025). Torr Definition in Science. Obtenido de ThoughtCo.: <https://www.thoughtco.com/definition-of-torr-605743>
- Pérez, J. (16 de abril de 2005). Evangelista Torricelli. De la bomba de agua a la invención del barómetro. El Día.
- Significados, E. (21 de febrero de 2020). Presión Atmosférica. Enciclopedia Significados. Obtenido de: <https://www.significados.com/presion-atmosferica/>
- Tomé, C. (enero de 2014). Del Vacío. Cultura Científica. Obtenido de <https://culturacientifica.com/2014/01/14/del-vacio/>
- Williams, R. (2015). Torricelli demuestra la existencia de un vacío. American Physical Society. Obtenido de <https://www.aps.org/archives/publications/apsnews/201210/physicshistory.cfm>





## SECCIÓN 5

# **DIVULGACIÓN CIENTÍFICA**

## REVISIÓN HISTÓRICA DEL DESCUBRIMIENTO DEL ELECTRÓN <sup>5</sup>

**Resumen:** Este escrito retrata una investigación bibliográfica sobre los primeros hitos histórico-científicos relacionados con el electrón. Se describen experimentos con ámbar y el descubrimiento de la fuerza electrostática, el magnetismo y el mito de Magnes, así como el origen del hierro y la invención de la brújula. Finalmente, se presenta una descripción científica que respalda la veracidad de los hechos históricos. El texto propone que la humanidad ha demostrado gran inteligencia desde épocas prehistóricas, lo cual se evidencia en su capacidad de observar y manipular fenómenos naturales.

**Palabras clave:** electrón, ámbar, Tales de Mileto, Magnes, magnetita, hierro prehistórico, brújula.

### Introducción

En la actualidad, sabemos que los fenómenos de la naturaleza están gobernados por cuatro fuerzas fundamentales: gravitacional, nuclear débil, nuclear fuerte y electromagnética. Esta última es la más relevante en los fenómenos cotidianos, aunque muchas veces pasa desapercibida. Los electrones son los protagonistas de esta fuerza y controlan fenómenos a pequeña y mediana escala; incluso, en ocasiones, a gran escala, como en las tormentas eléctricas.

En este texto exploraremos cómo el electrón ha influido en la naturaleza desde tiempos remotos, y cómo su elusiva presencia llevó a las primeras civilizaciones a interpretarlo como una fuerza mística. Comprenderlo significaba adquirir poder, tecnología y control. El electrón ha estado presente desde actividades ancestrales, como encender un fuego o fundir metales, hasta invenciones más complejas como la brújula, la pólvora o los circuitos electrónicos. Cada uno de estos hitos implica un entendimiento —aunque sea

intuitivo— del mundo de los electrones.



**Figura 1.** Un relámpago se produce cuando un cúmulo de electrones se precipitan desde las nubes hacia la superficie terrestre. Generado por IA.

### Electron: el origen de lo inexplicable

Desde hace miles —si no millones— de años, la humanidad ha sido testigo de al menos un fenómeno eléctrico, aunque sin comprenderlo del todo. Al frotar ciertos materiales, estos adquieren propiedades misteriosas: son capaces de atraer objetos ligeros sin tocarlos. Este efecto, tan curioso como simple de reproducir, puede comprobarlo el lector por sí mismo: basta con frotar un bolígrafo de plástico contra el cabello o la ropa, y luego acercarlo a pequeños trozos de papel. Los fragmentos se verán atraídos hacia el bolígrafo, como si unas manos invisibles los recogieran.

En la tradición occidental, este fenómeno se atribuye al filósofo griego Tales de Mileto (siglos VII–VI a.C.), quien observó que, al frotar ámbar con lana, este adquiría la capacidad de atraer objetos livianos (Moebis, 2021). Sin embargo, es probable que este conocimiento sea aún más antiguo. El ámbar, por su apariencia llamativa y su abundancia natural, fue valorado por múltiples culturas. De hecho, registros arqueológicos y documentos históricos

indican que civilizaciones anteriores a la griega ya conocían y utilizaban esta propiedad del ámbar (Park, 1898).



**Figura 2.** Uno de los primeros experimentos con electricidad fue realizado por Tales de Mileto, alrededor del año 600 a.C. Al frotar una piedra de ámbar — una resina fósil de color amarillo brillante— con una piel de animal, notó que esta podía atraer objetos livianos, como plumas, paja o pedacitos de tela (Science Photo Library, s.f.).

Aunque los nombres y las fechas exactas se hayan perdido en el tiempo, todo sugiere que el ser humano descubrió este fenómeno de forma independiente en distintas regiones del mundo. En ese sentido, los griegos no fueron necesariamente los primeros en observarlo, pero sí quienes dejaron constancia escrita más precisa y detallada.

Es gracias a esta herencia cultural que la partícula que hoy llamamos “electrón” debe su nombre al vocablo griego *ēlektron*, utilizado en la antigüedad para referirse al ámbar. Como relata Park (1898), esta sustancia recibía ese nombre por su característico color amarillo brillante, semejante a la luz del sol. En la antigua Grecia, el ámbar, junto con el oro y otros metales preciosos, era descrito con el adjetivo *ēlector*, una palabra que al parecer estaba reservada para las sustancias áureas y que significaba “hijos del dios Helios”. Esta asociación se refuerza con el hecho de que una de las hijas del dios llevaba por nombre *Ēlectryone*. Aunque en un inicio el término

estaba vinculado a la apariencia del ámbar, fue gracias a los experimentos de Tales de Mileto que se lo empezó a asociar con los fenómenos eléctricos, dando origen al concepto moderno de electricidad.

Por otro lado, según Park (1898), en la antigua Fenicia se conocía al ámbar con el nombre de Harpaga, que significa “el que atrae” o “el que atrapa”, una denominación que sugiere una relación más directa con sus propiedades eléctricas. En aquella época, las hilanderas utilizaban el ámbar en la fabricación de sus husos. Tanto los registros poéticos como los hallazgos arqueológicos indican que estas mujeres ya aprovechaban su capacidad de atracción para recoger las delicadas fibras de la lana. Esto refuerza la idea de que la humanidad conocía los efectos eléctricos del ámbar mucho antes de que existieran registros escritos.



**Figura 3.** Rodete de ámbar utilizado en un huso (British Museum, s.f.), una herramienta tradicional para hilar fibras textiles. El rodete, con forma de disco, ayuda a mantener el giro constante mientras se hila. Se han encontrado muchos ejemplares arqueológicos de rodetes de ámbar, lo que indica que ya en la antigüedad se aprovechaban sus propiedades para facilitar el hilado con huso y rueca.

## El magnetismo y la leyenda de Magnes

Otro fenómeno natural cuyo nombre proviene de la tradición griega es el magnetismo. Según relata Plinio el

Viejo (1971), un pastor llamado Magnes apacentaba sus ovejas cerca del monte Ida cuando, de forma inesperada, la punta metálica de su bastón y los clavos de sus sandalias quedaron adheridos a una piedra del suelo. Aunque el relato tiene un tinte claramente mitológico, podría contener una base real, lo que permitiría situar —al menos de forma aproximada— la región y el contexto cultural donde se produjo este descubrimiento.

El mineral al que hace referencia la historia es la magnetita, un óxido de hierro muy común en la corteza terrestre. Sin embargo, su capacidad atractiva es relativamente débil, lo que hace poco probable que una pieza metálica pesada, como un bastón, se haya adherido a una roca. Es más plausible pensar que Magnes observó cómo pequeñas partículas de magnetita se pegaban a su bastón.

Un detalle curioso del relato de Plinio —y que a menudo pasa desapercibido— es que el único metal que se ajusta a la descripción es el hierro metálico. En la actualidad este material es común, pero en la antigüedad era sumamente escaso. Esto se debe a que el hierro se encuentra en la superficie terrestre casi exclusivamente en forma de óxidos, y transformarlos en metal requiere un conocimiento técnico avanzado (Pilchin & Eppelbaum, 2006). Por tanto, este dato limita geográficamente el origen del mito a regiones donde se dominaba la metalurgia del hierro.

Un relato complementario que da mayor verosimilitud al mito de Plinio es el de los Dáctilos, hijos de la diosa Rea, quienes —según la mitología— fueron enviados precisamente al monte Ida. Estos seres eran expertos en la extracción de minerales y la fundición del hierro (Park, 1898). Así, no resulta descabellado pensar que, en los albores de la Edad del Hierro, algún artesano de Asia Menor haya producido hierro metálico en pequeñas cantidades, haciendo posible la experiencia de Magnes. Existe también otra posible —aunque menos probable— fuente del hierro

metálico: el espacio exterior. Bajo condiciones cósmicas, el hierro puede encontrarse en forma metálica dentro de los asteroides (Pilchin & Eppelbaum, 2006). A lo largo de la historia geológica del planeta, estos cuerpos han impactado la Tierra con frecuencia. Sin embargo, los meteoritos son difíciles de encontrar en condiciones adecuadas para extraer y trabajar su metal. A pesar de esta dificultad, se sabe que civilizaciones como la egipcia poseyeron objetos de hierro metálico, aunque no contaban con tecnologías propias para producirlo (Abel, 2023). Este hierro meteórico no impone una barrera temporal al descubrimiento del magnetismo, pero sí lo hace en términos geográficos: es más fácil de localizar en zonas como desiertos o llanuras, donde los meteoritos pueden ser visibles, conservados y recuperados con relativa facilidad.



**Figura 4.** La famosa daga del faraón Tutankamón está compuesta de hierro meteórico, debido a su alto contenido de níquel y cobalto. Este hallazgo sugiere que el hierro utilizado proviene del impacto de un meteorito, lo que refuerza la idea de que las culturas antiguas valoraban estos materiales "caídos del cielo" (Comelli et al., 2016).

De manera similar, existen indicios de que los pueblos hebreos y árabes conocían el hierro de origen meteórico y estaban familiarizados con sus propiedades magnéticas. En ambas culturas se compartía la creencia de que el cielo era una especie de gran cúpula de hierro, de la cual los meteoritos descendían como regalos celestiales (Abel, 2023). Incluso hay relatos míticos que mencionan fenómenos

de levitación provocados por fuerzas que recuerdan al magnetismo (Park, 1898). Todo esto refuerza la hipótesis de que, al igual que ocurrió con el ámbar y la electricidad estática, el magnetismo pudo haber sido descubierto de manera independiente por diferentes civilizaciones, en diversos lugares del mundo y en distintas épocas. Aunque los relatos antiguos —como el de Plinio— no se ajusten exactamente a los hechos históricos, conservan vestigios valiosos de los primeros encuentros de la humanidad con los misterios de la naturaleza.

### **La orientación magnética: de la curiosidad al ingenio práctico**

Aunque el fenómeno de atracción entre la magnetita y el hierro resulta asombroso, en la antigüedad no encontró una aplicación práctica más allá de ser un objeto de asombro o curiosidad. Sin embargo, la magnetita posee otra propiedad, mucho más sutil, cuyo dominio representó una verdadera revolución en la historia de la humanidad.

Este efecto se manifiesta cuando un fragmento de magnetita se suspende de manera que pueda girar libremente, sin fricción. Esto puede lograrse atándolo a un hilo muy fino o colocándolo sobre un pequeño trozo de corcho flotando en agua. Si el experimento se realiza correctamente, el mineral tiende a orientarse siempre en la misma dirección geográfica, apuntando hacia el norte y el sur.

A diferencia del relato de Plinio, este fenómeno no requiere hierro metálico, sino únicamente magnetita y una observación ingeniosa. Por esta razón, es muy probable que el conocimiento de este efecto haya surgido de forma independiente en diferentes culturas, incluso en regiones alejadas de las tradiciones metalúrgicas, y que su descubrimiento sea mucho más antiguo de lo que indican los registros históricos.

Mientras que el ámbar es un material vistoso y valioso a simple vista, la magnetita

es una roca de apariencia común, poco llamativa. Que haya sido valorada a lo largo del tiempo sugiere que su utilidad no residía en su estética, sino en su capacidad para orientar (Park, 1898).

En condiciones normales, un viajero puede guiarse mediante referencias geográficas —como montañas o ríos—, o astronómicas, como el Sol o las estrellas. No obstante, en vastas llanuras o desiertos, donde tales referencias pueden faltar o ser confusas, la magnetita deja de ser una simple curiosidad y se convierte en una herramienta vital (Park, 1898).

Según Park, fueron precisamente los pueblos que habitaban estas regiones —carentes de puntos de referencia fijos— quienes primero reconocieron y aprovecharon este fenómeno (1898). Esta hipótesis explicaría, al menos en parte, la especial fascinación que algunas culturas del desierto desarrollaron por el magnetismo. De igual forma, es plausible suponer que los habitantes de las vastas estepas euroasiáticas desarrollaran un conocimiento similar (Park, 1898).



**Figura 5.** Representación hipotética del uso de magnetita por pueblos de las llanuras como herramienta de orientación. Generado por IA.

En la antigua China, por ejemplo, ya desde el siglo III a.C., se empleaban cucharas fabricadas con mineral magnético que, al colocarse sobre una base lisa, giraban y se alineaban apuntando al sur (National

Geographic, s.f.). No obstante, diversas evidencias apuntan a que este conocimiento podría ser aún más antiguo. Existen relatos que datan de más de mil años antes de nuestra era, en los que se menciona la existencia de carruajes capaces de señalar de forma constante hacia el sur (Park, 1898).

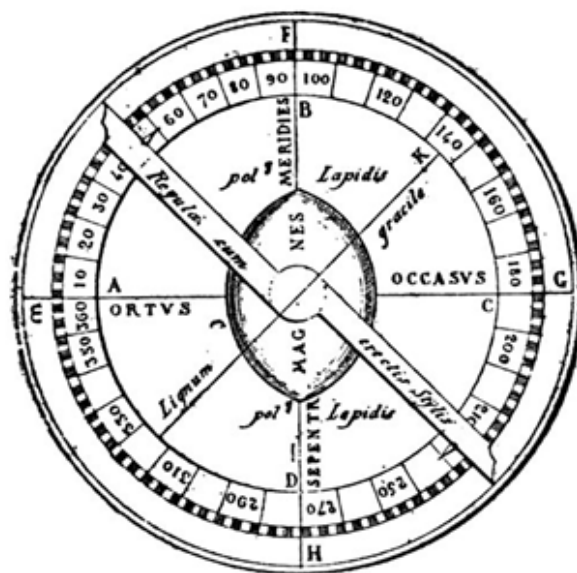
Según Park, es probable que este conocimiento haya sido heredado o adaptado de pueblos nómadas de las grandes llanuras, para quienes la orientación sin referencias visuales era fundamental. Algunas leyendas incluso sugieren que este saber fue olvidado y redescubierto en varias ocasiones (1898), posiblemente con ayuda de esas mismas culturas. Sin embargo, tales afirmaciones deben tomarse con cautela, ya que la naturaleza magnética de estos carruajes antiguos es solo una interpretación. En última instancia, la verdad sobre el origen de la orientación magnética en la antigua China parece haberse perdido entre los pliegues del tiempo.

## La brújula y la revolución en la navegación

Aunque el conocimiento del magnetismo es claramente ancestral en varias culturas, parece que su aplicación práctica en la navegación marítima no se consolidó sino hasta el siglo XII. Según Hernández (2021), es en esta época cuando aparecen los primeros registros del uso de la brújula en tres regiones distintas: China, el mundo islámico y Europa. El más célebre de estos relatos es el de Baylak al-Qibjaqi, quien —según se cuenta— logró trazar una ruta desde Trípoli hasta Alejandría durante una noche sin estrellas, guiándose únicamente con una brújula. Sin embargo, todo indica que estos casos eran excepcionales, probablemente porque los primeros modelos del instrumento aún eran poco precisos y difíciles de calibrar.

El perfeccionamiento de la brújula requeriría una comprensión más profunda

de las propiedades físicas del magnetismo, conocimiento que comenzó a desarrollarse en los siglos posteriores. Un hito clave en este proceso fue el tratado escrito en 1269 por Pierre de Maricourt, también conocido como Epistola de Magnete. En él, no solo describe detalladamente la brújula, sino que introduce conceptos fundamentales como la polaridad magnética. Descubrió que una aguja magnetizada posee dos polos opuestos y que, si se le permite moverse libremente, siempre se alinea apuntando hacia los polos de la Tierra (Hernández, 2021). También explicó cómo era posible magnetizar una aguja de hierro al ponerla en contacto con un imán natural.



**Figura 6.** Representación de la brújula de azimut, instrumento descrito por Petrus Peregrinus en su tratado *Epistola de Magnete* (1269). En esta obra, fue el primero en describir una brújula montada sobre un círculo graduado, capaz de medir ángulos respecto al norte magnético; es decir, una brújula de azimut.

A pesar de ser el primer tratado científico sobre magnetismo, la comprensión del fenómeno en la Edad Media aún estaba impregnada de elementos místicos y esotéricos. Circulaban, por ejemplo, historias sobre islas ocultas en el océano, supuestamente repletas de riquezas, cuya fuerza magnética desviaba las brújulas de los navegantes. También se relataban leyendas sobre troncos flotantes,

construidos por capricho de reyes, que levitaban gracias a poderes magnéticos desconocidos (Park, 1898).

Con el conocimiento científico actual, sabemos que estos relatos no tienen sustento físico. Sin embargo, también es justo reconocer que reflejan un genuino intento de comprender y explicar lo desconocido. La curiosidad humana, incluso cuando se expresa en forma de mito, ya apuntaba en la dirección correcta: hacia una explicación racional del magnetismo y sus aplicaciones.

### **Del asombro al conocimiento: el legado del magnetismo y la electricidad**

Esa misma curiosidad que impulsó a las antiguas civilizaciones a observar el comportamiento de la magnetita y del ámbar fue el punto de partida de una era de refinamiento técnico sin precedentes. Como se mencionó, en tiempos antiguos la brújula era vista como un último recurso, útil exclusivamente cuando no quedaban otras formas de orientación. Sin embargo, el avance tecnológico convirtió este rudimentario instrumento en una herramienta indispensable para la navegación.

El ingenio y la perseverancia aplicados para comprender y aprovechar los fenómenos magnéticos y eléctricos impulsaron una de las primeras grandes revoluciones científicas. Los hitos de la era de las exploraciones siguen figurando como capítulos fundamentales en los libros de historia moderna. Son recordatorio vivo de que el conocimiento científico se erige como el cimiento sobre el que se levantaron imperios.

Aún hoy, los descubrimientos que siguieron a aquellos primeros asombros continúan siendo pilares de la ciencia contemporánea. Gracias a ellos, por fin podemos explicar el origen de esas fuerzas misteriosas que tanto desconcertaron a nuestros antepasados.

Por ejemplo, sabemos ahora que el

electrón es una partícula con carga; y que el ámbar, al frotarse con lana, experimenta un fenómeno llamado efecto triboeléctrico (Mort, 2003). En este proceso, el ámbar adquiere electrones de la lana, y ese desequilibrio de cargas genera una atracción electrostática.

Sabemos también, que los electrones poseen otra propiedad conocida como espín (spin) (Griffiths & Schroeter, 2018, p. 172). En términos no científicos, el espín es semejante al giro de un spinner o una perinola. Aunque en el caso del electrón no existe un giro físico real, su comportamiento es muy similar. Esta propiedad combinada con la carga eléctrica hace que los electrones se comporten como diminutos imanes.

Según se explica en la sección 8.4 del libro de Zettili (2009), los electrones dentro de los átomos tienden a organizarse de manera que el magnetismo de uno se anule con el de otro, ya que ese es el estado de menor energía. Sin embargo, en elementos como el hierro —y otros materiales llamados ferromagnéticos— los electrones pueden alinearse colectivamente, de modo que los átomos adquieran un campo magnético no nulo y espontáneo (Coey, 2010). En palabras de Coey:

“Los imanes permanentes son relativamente comunes en la naturaleza en forma de [...] rocas ricas en magnetita, el óxido de hierro  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , las cuales eran magnetizadas por la inmensa corriente eléctrica de los relámpagos. Sacerdotes y habitantes de Sumeria, la antigua Grecia, China y la América precolombina estaban familiarizados con la magia [...] de estos imanes.”

Este conocimiento ayuda a explicar la piedra presente en el mito de Magnes. Asimismo, como señalan Pilchin & Eppelbaum (2006), la composición interna de la Tierra, rica en materiales ferromagnéticos, es la responsable de generar el campo magnético terrestre que alinea a los cuerpos magnetizados en la dirección sur-norte.

Por otro lado, el hierro metálico es un material relativamente escaso en la superficie terrestre. Esta rareza se debe a la abundancia de oxígeno molecular en la atmósfera, producto de millones de años de fotosíntesis (Lyons, Reinhard, & Planavsky, 2014). Según la BBC (s.f.), la oxidación del hierro ocurre cuando este pierde electrones en favor del oxígeno, y ambos elementos quedan unidos por atracción electrostática. Esta reacción explica por qué el hierro se encuentra comúnmente en forma de óxidos (férricos o ferrosos) y no como metal puro (Pilchin & Eppelbaum, 2006).

En el caso de los meteoritos, aunque también contienen hierro parcialmente oxidado, la ausencia de oxígeno libre en el espacio permite que parte de este hierro conserve su estado metálico (Pilchin & Eppelbaum, 2006). Como se mencionó anteriormente, varias civilizaciones antiguas aprovecharon este tipo de hierro meteórico, mucho antes de dominar las técnicas para producirlo de manera local.

En el caso del hierro, la oxidación se puede revertir a través de una reacción de reducción con carbono. En la práctica, si se funden minerales que contienen óxidos de hierro en presencia de carbono, este último actúa como un agente reductor, atrayendo el oxígeno y dejando libre el hierro metálico (BBC, s.f.).

Somos conscientes de que, si bien estas explicaciones son científicamente precisas, pueden resultar complejas o insatisfactorias para el lector no especializado. Esto se espera ya que muchos aspectos esenciales de la naturaleza del electrón han sido tratados aquí solo de forma superficial.

Por ejemplo, no se mencionó que la capacidad de los electrones para moverse entre átomos y organizarse de maneras que permiten fenómenos como el magnetismo se origina de un principio fundamental: "no pueden existir dos electrones idénticos". Este resultado es una consecuencia directa de la naturaleza cuántica del electrón, conocida como Principio de exclusión

de Pauli. Sin embargo, entender esto ha requerido siglos de investigación científica, como muestran los hechos relatados en este texto, el cual de por sí, es ya bastante extenso.

Por ello, si el lector considera que el tiempo y el interés son favorables, nos reservamos el análisis más profundo de estos episodios histórico-científicos para futuras entregas.

## Palabras finales

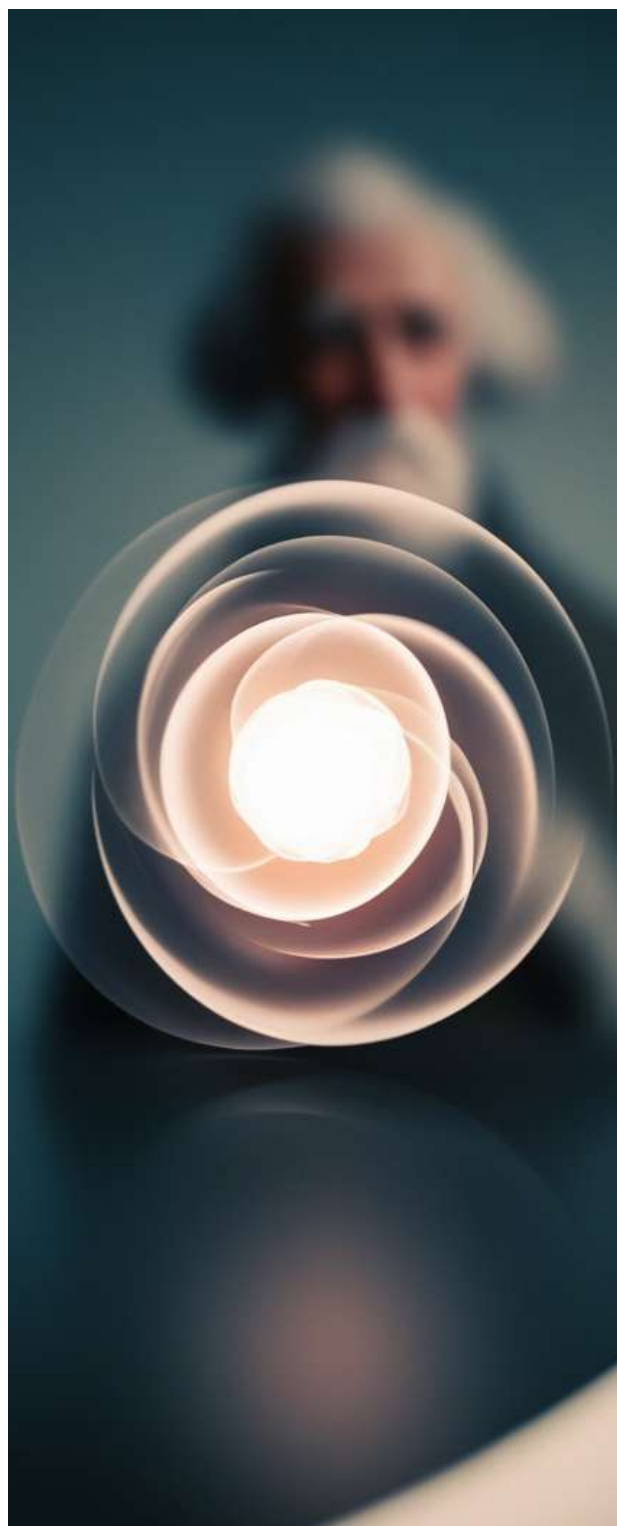
En este breve texto he intentado mostrar cómo la mente humana ha demostrado una asombrosa capacidad para observar, razonar y encontrar patrones incluso desde tiempos tan remotos como la prehistoria. Prueba de ello es que nuestros antepasados lograron manipular fenómenos cuya explicación científica solo ha sido posible en épocas recientes.

Toda mente humana alberga el potencial de una gran inteligencia. Por ello, espero que estas páginas despierten en el lector la curiosidad, el asombro y el ímpetu para seguir explorando los misterios del mundo que nos rodea.

## Referencias

- CERN. (2025, julio 3). ALICE detects the Abel, G. M. (2023, 12 de diciembre). Un metal raro: El hierro de los meteoritos ya se usaba en el Antiguo Egipto. National Geographic Historia. [https://historia.nationalgeographic.com.es/a/hierro-meteoritos-ya-se-usaba-antiguo-egipto\\_20598](https://historia.nationalgeographic.com.es/a/hierro-meteoritos-ya-se-usaba-antiguo-egipto_20598)
- BBC. (s.f.). Redox, extraction of iron and transition metals. BBC Bitesize. <https://www.bbc.co.uk/bitesize/guides/zv7f3k7/revision/2>
- British Museum. (s.f.). Amber spindle-whorl (Museum number Den.734) [Fotografía]. British Museum. [https://www.britishmuseum.org/collection/object/H\\_Den-734](https://www.britishmuseum.org/collection/object/H_Den-734)
- Coey, J. M. D. (2010). Magnetism and magnetic materials. Cambridge

- University Press.
- Comelli, D. (2016, 26 de marzo). The meteoritic origin of Tutankhamun's iron dagger blade. *Meteoritics & Planetary Science*.
  - Griffiths, D. J., & Schroeter, D. F. (2018). *Introduction to quantum mechanics* (3rd ed.). Cambridge University Press.
  - Hernández, B. (2021, 23 de septiembre). A invenção da Bússola. *National Geographic*. [https://www.nationalgeographic.pt/historia/a-invencao-da-bussola\\_1831](https://www.nationalgeographic.pt/historia/a-invencao-da-bussola_1831)
  - Lyons, T. W., Reinhard, C. T., & Planavsky, N. J. (2014). The rise of oxygen in Earth's early ocean and atmosphere. *Nature*, 506(7488), 307–315. <https://doi.org/10.1038/nature13068>
  - Moebs, W., Ling, S. J., & Sanny, J. (2021, November 17). 5.1 Carga eléctrica. En *Física universitaria volumen 2*. OpenStax. <https://openstax.org/books/f%C3%ADsica-universitaria-volumen-2/pages/5-1-carga-electrica>
  - Mort, J. (2003). Chapter III: Triboelectricity and Electrets. *Polymers, electronic properties*. En R. A. Meyers (Ed.), *Encyclopedia of Physical Science and Technology* (3.<sup>a</sup> ed., Vol. 13, pp. 503–519). Academic Press.
  - National Geographic. (n.d.). *Compass*. National Geographic Education. <https://education.nationalgeographic.org/resource/compass/>
  - Park, B. (1898). *The intellectual rise in electricity: A history of the science, showing the growth of the electric art from the earliest times to the present day*. J. Wiley.
  - Pilchin, A., & Eppelbaum, L. (2006). *Iron and its unique role in Earth evolution*.
  - Plinio el Viejo. (1971). *Natural history in ten volumes*. Vol.10: Libri XXXVI-XXXVII (D. E. Eichholz, Ed. y Trad.). Harvard University Press. (Original publicado en el año 77 d.C.). <https://archive.org/details/natural-history-in-ten-volumes.-vol.-10-libri-xxxvi-xxxvii-loeb-419/mode/2up>
  - Science Photo Library. (2025). *Amber picking up a feather through magnetism [Fotografía]*. Science Photo Library. <https://www.sciencephoto.com/media/1171251/view/amber-picking-up-a-feather-through-magnetism>
  - Zettili, N. (2009). *Quantum mechanics: Concepts and applications* (2nd ed.). Wiley.





SECCIÓN 6

# **VENTANA AL UNIVERSO DE LA FÍSICA**

## DE LA ALQUIMIA A LA FÍSICA CUÁNTICA: CERN TRANSFORMÓ PLOMO EN ORO <sup>6</sup>

**Resumen:** En este artículo se aborda un descubrimiento realizado en el experimento ALICE del CERN, donde se logró la transmutación de plomo en oro mediante colisiones de alta energía. Más allá del impacto simbólico, este hallazgo permite comprender mejor la formación de elementos pesados en el universo y los procesos de transformación nuclear. Además, ofrece una interesante conexión entre antiguos ideales alquímicos y los avances de la física moderna.

**Palabras clave:** Transmutación, ALICE, Colisionador de Hadrones, Física nuclear, Alquimia.

### Introducción

Desde la antigüedad, la humanidad ha soñado con convertir metales comunes en oro. Este anhelo —impulsado tanto por la codicia como por la curiosidad— dio origen a la alquimia, una proto-ciencia que combinaba elementos de la química, la filosofía y la espiritualidad. Uno de los principales objetivos de los alquimistas era descubrir la legendaria Piedra Filosofal, una sustancia mítica que, según creían, podía transmutar metales ordinarios en oro y conferir la inmortalidad.

Aunque la alquimia fue desplazada por la química moderna, su espíritu sigue vivo en la ciencia actual, como lo demuestra un logro reciente en el CERN (Organización Europea para la Investigación Nuclear, el mayor laboratorio de física de partículas del mundo). En mayo de 2025, un grupo de físicos consiguió lo que durante siglos pareció imposible: observar la conversión de plomo en oro en el experimento ALICE del Gran Colisionador de Hadrones (LHC).

### Demostrando el gran poder de la ingeniería: El gran colisionador de Hadrones (LHC)

Desde el 2008, el LHC es el acelerador de

partículas más poderoso del mundo. Se trata de un anillo de casi 27 kilómetros de longitud que se encuentra a unos 175 metros bajo tierra al noroeste de Ginebra, en la frontera entre Suiza y Francia.



**Figura 1.** El recorrido de 27 kilómetros de circunferencia del Gran Colisionador de Hadrones (LHC) puede trazarse desde el cielo, marcando una trayectoria semicircular entre Suiza y Francia. Esta imagen permite dimensionar la magnitud de una de las instalaciones científicas más ambiciosas jamás construidas (Westport Library,s.f.).

La función principal del LHC es acelerar haces de partículas cargadas —como protones— en direcciones opuestas hasta alcanzar velocidades cercanas a la de la luz. Estas partículas circulan en tubos de vacío extremo y son guiadas por potentes electroimanes superconductores que operan a  $-271,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ , gracias a un sistema de enfriamiento con helio líquido. Al colisionar entre sí, estas partículas liberan enormes cantidades de energía y recrean condiciones similares a las que existieron instantes después del Big Bang, lo que permite a los científicos estudiar los componentes fundamentales del universo (Centro Nacional de Física de Partículas, Astropartículas y Nuclear, s. f.).



**Figura 2.** En este tramo del anillo subterráneo de 27 kilómetros del LHC, se pueden observar los tubos por donde circulan los haces de partículas subatómicas a velocidades cercanas a la luz (LHC Deutschland, s. f.).



**Figura 3.** ALICE es uno de los principales detectores del Gran Colisionador de Hadrones (LHC) del CERN. Con 26 m de diámetro y 16 m de largo, fue diseñado para estudiar colisiones de iones pesados, como el plomo. Está ubicado a 56 metros de profundidad en una gran caverna subterránea, cerca del pueblo de Saint-Genis-Pouilly, en Francia (CERN, 2025).

## Comprendiendo el experimento ALICE

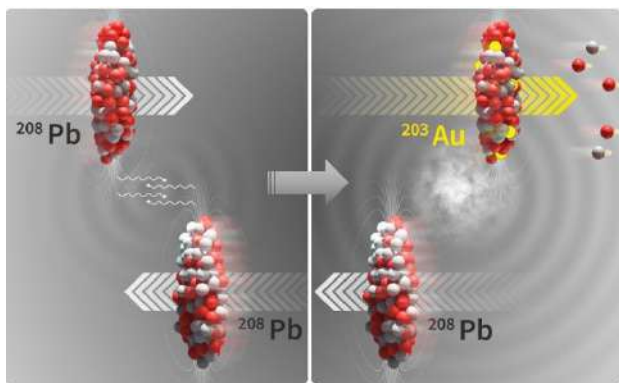
ALICE (A Large Ion Collider Experiment) es uno de los ocho grandes detectores del LHC. Tiene una estructura cilíndrica de aproximadamente 16 metros de largo por 16 metros de diámetro, y ha sido diseñado específicamente para estudiar las colisiones de iones pesados como el plomo, creando temperaturas que pueden superar en más de 100 000 veces la temperatura del centro del Sol. Este fenómeno da lugar a un estado exótico conocido como plasma de quarks y gluones, el estado más elemental conocido de la materia (Romero, 2025).

Aunque el LHC está diseñado principalmente para generar plasma de quarks y gluones mediante colisiones frontales, no todas las interacciones ocurren de esta forma. En muchos casos, los iones de plomo se aproximan sin llegar a chocar directamente, en eventos conocidos como colisiones ultraperiféricas o “rozamientos” (CERN, 2024). En estas interacciones, los intensos campos electromagnéticos pueden inducir la expulsión de partículas subatómicas del núcleo, como protones y neutrones, provocando así una transformación en la materia involucrada.

## La transmutación de Oro a partir del Plomo

La transmutación es el proceso mediante el cual un elemento químico se transforma en otro al cambiar el número de protones en su núcleo atómico. El plomo tiene 82 protones en su núcleo, mientras que el oro posee 79. Para que ocurra esta transformación, el núcleo debe perder tres protones, algo que puede lograrse mediante procesos de fragmentación nuclear inducidos por colisiones de alta energía (Garay, 2025).

En el experimento con ALICE, los núcleos de plomo son acelerados hasta alcanzar el 99.999993% de la velocidad de la luz y se acercan lo suficiente como para interactuar sin colisionar directamente. Esta colisión ultraperiférica genera pulsos intensos de fotones que excitan el núcleo y provocan la expulsión de partículas subatómicas —en particular, dos neutrones y tres protones—. Como resultado, algunos núcleos de plomo se transforman en núcleos de oro, hecho confirmado por los físicos al detectar átomos de este elemento entre los productos de la colisión (Matson, s. f.).



**Figura 4.** Representación de una colisión ultraperiférica en el LHC: dos haces de iones de plomo ( $^{208}\text{Pb}$ ) pasan muy cerca uno del otro sin colisionar directamente. La intensa interacción de sus campos electromagnéticos provoca la expulsión de dos neutrones y tres protones, transformando el plomo en oro ( $^{203}\text{Au}$ ) (CERN, 2025).

### ¿Es viable generar oro con ALICE?

El equipo ALICE emplea calorímetros de grado cero (ZDC) para contar la cantidad de núcleos de oro generados por segundo. Los resultados indican que actualmente se producen aproximadamente 89.000 núcleos de oro por segundo a partir de colisiones ultraperiféricas entre iones de plomo. Entre 2015 y 2018, ALICE logró generar alrededor de 86 mil millones de núcleos de oro, lo que equivale, en términos de masa, a tan solo 29 picogramos ( $2,9 \times 10^{-11}$  g). Esta cantidad es miles de millones de veces menor que la necesaria para fabricar una sola pieza de joyería.

Aunque este experimento logró efectivamente la transmutación de plomo en oro, este proceso no es económicamente viable para fines comerciales puesto la cantidad generada es extremadamente pequeña y, además, los átomos formados se desintegran después de una fracción de segundo. Aun así, el resultado representa un avance científico significativo, demuestra que es posible observar y estudiar transmutaciones nucleares complejas en condiciones de laboratorio, lo que abre nuevas posibilidades en física de partículas, astrofísica y en la comprensión del origen de los elementos (CERN, 2025).

### Explorando las implicaciones del experimento ALICE

La transmutación de plomo en oro lograda en el colisionador ALICE del CERN no se limita a una hazaña técnica: representa un avance clave con repercusiones en diversas áreas del conocimiento. Aunque producir oro a partir del plomo no es viable económicamente, este tipo de experimentos permite explorar fenómenos fundamentales del universo y mejorar herramientas científicas de alto nivel. Según López (2025), entre las implicaciones más relevantes del experimento se encuentran:

- **Astrofísica:** Proporciona datos valiosos sobre la formación de elementos pesados en el universo, al replicar condiciones similares a las de colisiones estelares, como las que ocurren durante la fusión de estrellas de neutrones.
- **Física nuclear:** Ofrece un entorno controlado para estudiar la estabilidad de los núcleos atómicos y los mecanismos de transmutación nuclear inducida.
- **Desarrollo tecnológico:** Impulsa la mejora de aceleradores de partículas y detectores, esenciales no solo para la investigación fundamental, sino también para aplicaciones médicas e industriales.
- **Filosofía de la ciencia:** Invita a reflexionar sobre los límites de lo posible y la transformación del conocimiento científico, superando antiguas ideas alquímicas con evidencia experimental.

### Conclusión. Un sueño alquímico hecho realidad científica

Curiosamente, este logro científico resuena con los ideales de los alquimistas medievales, aunque ellos no contaban con aceleradores de partículas ni teoría cuántica, su búsqueda de la transmutación era, en esencia, una forma de explorar los

secretos de la materia.

Isaac Newton, por ejemplo, dedicó buena parte de su vida al estudio de la alquimia, convencido de que los secretos del universo podían revelarse a través de la transformación de la materia.

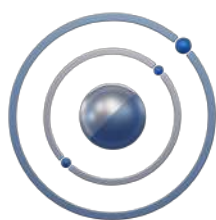
Hoy, la ciencia, ha retomado ese camino, pero con herramientas más precisas y un enfoque empírico, la Piedra Filosofal no existe, pero el conocimiento acumulado por siglos nos ha permitido lograr lo que antes era solo un mito

Este logro del CERN no cambiará la economía del oro, pero sí transforma nuestra comprensión del universo. Nos recuerda que los sueños antiguos pueden encontrar su realización en la ciencia moderna, y que la curiosidad humana sigue siendo el motor de los descubrimientos más asombrosos.

## Referencias

- CERN. (2025, julio 3). ALICE detects the conversion of lead into gold at the LHC. CERN. <https://home.cern/news/news/physics/alice-detects-conversion-lead-gold-lhc>
- CERN. (2024, 12 agosto). ALICE does the double slit. Recuperado el 23 de julio de 2025, de <https://home.cern/news/news/physics/alice-does-double-slit>
- Centro Nacional de Física de Partículas, Astropartículas y Nuclear (CPAN). (s. f.). El Gran Colisionador de Hadrones (LHC) del CERN. Recuperado el 23 de julio de 2025, de <https://www.i-cpan.es/es/content/el-gran-colisionador-de-hadrones-lhc-del-cern>
- Garay, J. (2025, mayo 9). Físicos logran transformar plomo en oro en el Gran Colisionador de Hadrones. WIRED. <https://es.wired.com/articulos/fisicos-transforman-plomo-en-oro-en-el-gran-colisionador-de-hadrones>
- LHC Deutschland. (s. f.). The Large Hadron Collider (LHC). Recuperado el 23 de julio de 2025, de [https://lhc-deutschland.de/lhc\\_deutschland/index\\_eng.html](https://lhc-deutschland.de/lhc_deutschland/index_eng.html)
- López, J. C. (2025, mayo 11). La auténtica alquimia la está haciendo el CERN: Ha detectado la transformación de plomo en oro. Xataka. <https://www.xataka.com/investigacion/autentica-alquimia-esta-haciendo-cern-ha-detectado-transformacion-plomo-oro>
- Matson, J. (s. f.). Fact or Fiction? Lead Can Be Turned into Gold. Scientific American. Recuperado 30 de junio de 2025, de <https://www.scientificamerican.com/article/fact-or-fiction-lead-can-be-turned-into-gold/>
- Romero, S. (2025, mayo 11). ¿Piedra filosofal? ALICE acaba de convertir plomo en oro. National Geographic España. [https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/piedra-filosofal-alice-acaba-convertir-plomo-oro\\_25002](https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/piedra-filosofal-alice-acaba-convertir-plomo-oro_25002)
- Westport Library. (s. f.). Large Hadron Collider [Fotografía aérea del LHC]. En Westport Library Research Guides. Recuperado el 23 de julio de 2025, de <https://westportlibrary.libguides.com/LargeHadronCollider>





**CENTRO DE FÍSICA**

Universidad Central del Ecuador



**CENTRO DE FÍSICA**  
Universidad Central del Ecuador

ISSN: 3103-1323

# Praxis