



Praxis

Revista del Centro de Física-UCE

Número 9

Praxis

Revista del Centro de Física-UCE

CONSEJO EDITORIAL

EDITOR EN JEFE

- Ing. Ricardo Defas, MSc. – Universidad Central del Ecuador, rddfas@uce.edu.ec

EDITOR ACADÉMICO

- Ing. Sebastian Guerrero, MSc – Universidad Central del Ecuador, saguerrero@uce.edu.ec

EDITORES DE SECCIÓN

- Ing. Jorge Oswaldo Chimarro Alvear, MSc. – Universidad Central del Ecuador, jochimarro@uce.edu.ec
- Ing. Washington Patricio Lomas Arciniega, MSc. – Universidad San Francisco de Quito, wlomas@usfq.edu.ec
- Ing. Felipe Josué Lima Alvear – Universidad Central del Ecuador, fjlima@uce.edu.ec
- Ing. Everzon Feiner Domínguez Castillo – Universidad Central del Ecuador, efdominguez@uce.edu.ec
- Ing. Chaluiza Charro Elizabeth Vanesa MSc. – Universidad Central del Ecuador, evchaluiza@uce.edu.ec

REVISORES INTERNOS Y EXTERNOS

- MSc. Gallo Calero José Luis - Universidad Central del Ecuador, jlgallo@uce.edu.ec
- Ph.D. Guillermo Rubén Terán Acosta - Universidad Central del Ecuador, grteran@uce.edu.ec
- Ph.D. Miryam Paredes - Universidad Central del Ecuador, meparedesq@uce.edu.ec
- Ph.D. José Solano - Institute of Physics of the Czech Academy of Sciences, jose.solano@fzu.cz
- MSc. Cristian Paredes Illanes – Universidad Central del Ecuador, cxparedesi@uce.edu.ec



Diagramación y Maquetación
Centro de Física
Universidad Central del Ecuador

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



INTRODUCCIÓN

La Revista *Praxis* del Centro de Física de la Universidad Central del Ecuador presenta con gran entusiasmo su novena edición como una nueva oportunidad para compartir, dialogar y reflexionar en torno a la Física y su papel en la formación científica contemporánea. Esta entrega reúne aportes que integran la enseñanza, la experimentación, la historia y la divulgación, consolidando un espacio editorial que impulsa la construcción colectiva del conocimiento y el fortalecimiento de la cultura científica.

En la sección **Enseñando Física**, se presenta un análisis sobre el papel del lenguaje científico en el aprendizaje universitario, destacando cómo la oralidad y la escritura no solo comunican ideas, sino que constituyen herramientas fundamentales para la construcción del conocimiento y el desarrollo del pensamiento científico. Por su parte, en **Laboratorio en Acción**, se expone una propuesta experimental basada en la construcción de un telescopio refractor de bajo costo, evidenciando que es posible integrar teoría y práctica mediante recursos accesibles que fortalecen la enseñanza de la óptica.

La sección **Física a través del tiempo** nos transporta al siglo XVII para comprender la relevancia del reloj de péndulo de Huygens, un hito en la medición precisa del tiempo que marcó un avance significativo en la ciencia y la tecnología. En **Ventana al Universo de la Física**, se analiza la evolución de las revoluciones industriales hasta la actualidad, abordando el impacto de la inteligencia artificial en la transformación del trabajo y resaltando cómo la tecnología redefine continuamente las dinámicas sociales y productivas.

Finalmente, en la sección de **Divulgación Científica**, se examinan los antecedentes históricos de la Revolución Científica y su influencia en el desarrollo del pensamiento moderno, proporcionando un marco esencial para comprender el surgimiento de teorías fundamentales como el electromagnetismo.

Esta edición reafirma el compromiso de la revista con la difusión del conocimiento científico desde una perspectiva rigurosa y accesible. Asimismo, constituye una invitación abierta a docentes, investigadores, estudiantes y a toda la comunidad académica a contribuir con sus trabajos, fortaleciendo este espacio de intercambio y construcción colectiva del saber. Porque, como señaló Marie Curie, “nada en la vida debe ser temido, solo comprendido”, esta revista continúa promoviendo la comprensión como base del progreso científico.

Sección Enseñando Física



Hablar y escribir para comprender Física: El papel del lenguaje científico en el aprendizaje universitario

Speaking and writing to understand Physics: The role of scientific language in university learning

 Elizabeth Chaluiza – Charro ^{*1},  Elsa Arequipa ²

Universidad Central del Ecuador, Centro de Física. Quito, Ecuador. E-mail: evchaluiza@uce.edu.ec

Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ciencias. Quito, Ecuador. E-mail: erarequipa@uce.edu.ec

Recibido 09 de marzo de 2026; aceptado 27 de marzo de 2026; publicado 06 de abril de 2026

Resumen

En el presente trabajo se analiza el papel del lenguaje científico en el aprendizaje de la Física desde una perspectiva epistemológica y cognitiva. A partir de una revisión narrativa de la literatura en didáctica de las ciencias y alfabetización disciplinar, se evidencia que el lenguaje no solo cumple una función comunicativa, sino que constituye una herramienta fundamental para la construcción del conocimiento, al permitir comprender conceptos abstractos, establecer relaciones causales entre variables y explicar fenómenos físicos.

En este marco, se examina cómo la escritura y la oralidad científica favorecen el desarrollo de procesos cognitivos de orden superior, tales como la argumentación, la explicación y la regulación del pensamiento. En particular, se propone una clasificación de los niveles de escritura en función de su impacto cognitivo, diferenciando entre formas reproductivas, organizativas y epistémicas. Se concluye que la escritura epistémica, en articulación con la oralidad disciplinar, promueve la transformación del conocimiento y el desarrollo del pensamiento científico. Por ello, en el contexto universitario, resulta imprescindible fomentar el uso intencional del lenguaje científico como eje articulador del aprendizaje en Física.

Palabras clave: Lenguaje científico, escritura epistémica, oralidad, cognición científica, aprendizaje de la Física.

Abstract

This study analyzes the role of scientific language in the learning of Physics from an epistemological and cognitive perspective. Based on a narrative review of the literature in science education and disciplinary literacy, it is shown that language not only fulfills a communicative function but also constitutes a fundamental tool for knowledge construction, enabling the understanding of abstract concepts, the establishment of causal relationships between variables, and the explanation of physical phenomena.

Within this framework, the study examines how scientific writing and oral discourse foster the development of higher-order cognitive processes such as argumentation, explanation, and metacognitive regulation. In particular, a classification of writing levels based on their cognitive impact is proposed, distinguishing among reproductive, organizational, and epistemic forms. It is concluded that epistemic writing, in articulation with disciplinary oral discourse, promotes knowledge transformation and the development of scientific thinking. Therefore, in the university context, it is essential to foster the intentional use of scientific language as a central axis for learning in Physics.

Keywords: Scientific language, epistemic writing, scientific discourse, scientific cognition, learning physics.

* Autor de correspondencia: evchaluiza@uce.edu.ec





1. INTRODUCCIÓN

La habilidad para comunicar ciencia de manera efectiva a diversos públicos es comparable a dominar un idioma extranjero, requiriendo la inmersión en un nuevo léxico y la comprensión de estructuras complejas. No se trata únicamente de memorizar palabras nuevas, sino de apropiarse de un sistema de significados, relaciones y formas de argumentación que estructuran una manera particular de pensar el mundo (Sanmarti et al., 2007).

En el ámbito cotidiano, las personas internalizan el lenguaje común de manera espontánea y natural; sin embargo, el lenguaje científico y particularmente el de la Física, requiere aprendizaje deliberado y estructurado en contextos académicos formales tales como el entorno universitario y la investigación.

Desde esta perspectiva, hablar y escribir para aprender ciencias no constituye una actividad complementaria, sino un requisito fundamental para el aprendizaje.

Considerando que la Física, al igual que otras ciencias, trabaja con conceptos de carácter abstracto, su comprensión suele resultar compleja para los estudiantes. Gran parte de los fenómenos físicos no son directamente observables, sino que deben explicarse a partir de modelos teóricos, representaciones matemáticas y lenguaje científico especializado (Redish, 2003).

Según Lemke (1990) y Applebee (1984), respecto al estudio de la didáctica de las ciencias, el aprendizaje científico se construye mediante prácticas discursivas que permiten explicar, argumentar y modelizar fenómenos naturales. En este sentido, el lenguaje cumple una función comunicativa y cognitiva, facilitando la organización del pensamiento y la construcción de significados científicos.

Entonces, la posibilidad de expresar ideas científicas mediante el lenguaje escrito obliga a los estudiantes, docentes e investigadores a estructurar sus razonamientos, explicitar

relaciones conceptuales y revisar sus propias interpretaciones, contribuyendo de gran manera la comprensión del conocimiento científico (Graham et al., 2020; Klein & Boscolo, 2022).

En este marco, surge la siguiente pregunta orientadora del estudio:

¿Por qué hablar y escribir ciencia constituyen condiciones necesarias para el aprendizaje significativo de la Física?

2. DESARROLLO

Para responder a la problemática planteada, a continuación, se analizan los fundamentos teóricos que sustentan la relación entre **lenguaje, escritura y oralidad** en el aprendizaje de las ciencias, con énfasis particular en la Física. Asimismo, se examinan sus implicaciones en la enseñanza universitaria, destacando su contribución al fortalecimiento del pensamiento científico y la comprensión conceptual.

2.1. Lenguaje científico y léxico especializado en el aprendizaje

Una característica distintiva del lenguaje científico es su léxico especializado. En Física, por ejemplo, términos como fuerza, energía, trabajo, campo o potencia poseen significados que difieren de su uso cotidiano.

Cuando se comprende el significado de un vocabulario nuevo este no representa una dificultad para el estudiante, el problema surge cuando el término no es comprendido y se aprende de manera no significativa sin haber construido previamente el concepto (Gutiérrez, 2005).

Según Cantabrana (2013), el discurso científico se caracteriza por el uso de un lenguaje especializado, debido a los tecnicismos que implica. Esto se extrapola a los estudiantes universitarios, quienes deben asimilar una gran cantidad de terminología nueva en los primeros años de formación. En el caso de



carreras médicas, esta exigencia se evidencia con mayor claridad, ya que se estima que los estudiantes deben aprender y comprender aproximadamente 15 000 palabras nuevas, cifra muy superior al vocabulario que se adquiriría en un curso básico de un segundo idioma. Dado que esta terminología disciplinar es amplia, su adecuada asimilación constituye una condición necesaria para el aprendizaje.

En consecuencia, cuando el estudiante no logra apropiarse de los términos y conceptos propios de la disciplina, se generan vacíos cognitivos. El mismo autor señala que uno de los principales factores del fracaso académico es el uso inadecuado de la terminología especializada durante el proceso de aprendizaje. Asimismo, el lenguaje cotidiano puede interferir significativamente en la apropiación del conocimiento científico al introducir términos polisémicos y disonancias semánticas cuyos significados difieren del uso disciplinar.

En este contexto, la internalización del lenguaje especializado constituye un requisito epistemológico, es decir, una condición necesaria para comprender y construir conocimiento científico de manera adecuada (Sanmartí et al., 1999), ya que implica la construcción de significados en función de los conceptos que representan.

2.2. Lenguaje simbólico y construcción del conocimiento en Física

El lenguaje científico no se limita al uso de términos especializados, sino que también incorpora un lenguaje simbólico, entendido como un sistema de signos y expresiones matemáticas que permite representar de forma precisa relaciones entre magnitudes físicas.

Por ejemplo, el término “**movimiento rectilíneo uniformemente variado (MRUV)**”, permite sintetizar una descripción sobre la tasa de cambio de la velocidad $\vec{v}$ de una partícula en el tiempo,

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}. \quad (1)$$

Dicha síntesis solo es válida cuando se comprende que la cantidad $\vec{a}$, denominada aceleración, describe el movimiento de un cuerpo con velocidad variada. En particular, para el MRUV la aceleración permanece constante. Este ejemplo evidencia como el lenguaje simbólico representa significados abstractos.

En un siguiente nivel de abstracción el estudiante puede entender que las condiciones de MRUV se justifican cuando se abordan los conceptos de dinámica al relacionar la aceleración con la fuerza aplicada al cuerpo.

Por ejemplo, la segunda Ley de Newton establece que “La fuerza es directamente proporcional al producto de la Masa por la Aceleración”, de acuerdo con la expresión

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a}. \quad (2)$$

En este caso, las cantidades fuerza $\vec{F}$ (interacción), masa m (inercia del cuerpo) y aceleración representan una agregación conceptual en un nuevo modelo matemático más completo.

Este mismo modelo se puede complementar con la definición de **cantidad de movimiento** ($\vec{p}$),

$$\vec{p} = m \cdot \vec{v}, \quad (3)$$

que relaciona la masa de un cuerpo (m) y su velocidad ($\vec{v}$).

Así, se puede relacionar los conceptos anteriores para reinterpretar a la fuerza como la tasa de cambio de la cantidad de movimiento,

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d(m \cdot \vec{v})}{dt}, \quad (4)$$

concluyendo entonces que “La fuerza es la tasa de cambio de la cantidad de movimiento”. Finalmente, si la masa permanece constante, entonces se obtiene la expresión (2).

De este modo, se infiere que el lenguaje simbólico no solo representa relaciones



matemáticas, sino que expresa estructuras conceptuales cada vez más complejas, permitiendo al estudiante establecer conexiones entre distintos modelos físicos.

Este ejemplo evidencia que el aprendizaje de la Física requiere no solo conocer el vocabulario especializado, sino también interpretar correctamente los sistemas simbólicos que representan fenómenos abstractos. En este sentido, el dominio del lenguaje científico (tanto léxico como simbólico) constituye una condición fundamental para la construcción del conocimiento disciplinar.

2.3. Generación del conocimiento científico en la Física

El aprendizaje de la física, y de las ciencias en general, no depende exclusivamente de la adquisición de conceptos, sino de la articulación entre el pensamiento, el lenguaje y las formas de comunicación propias de la ciencia.

Como se muestra en la Figura 1, la construcción del conocimiento científico es un proceso cíclico donde las habilidades cognitivas se articulan y se concretan en habilidades cognitivo-lingüísticas.

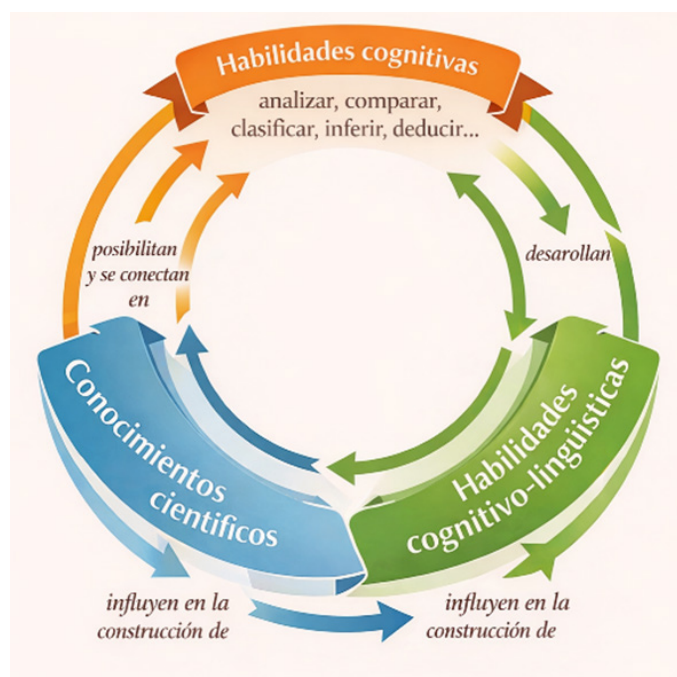


Figura 1: Interrelación cíclica entre habilidades cognitivas, habilidades cognitivo-lingüísticas y construcción de conocimientos científicos. Nota: Elaboración propia basada en Sanmartí et al. (1999).

Por un lado, las **habilidades cognitivas** permiten analizar, comparar, inferir, deducir e interpretar la información. Por ejemplo, esto se evidencia cuando, al interpretar la relación entre fuerza, masa y aceleración en la expresión $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$, se establecen relaciones causales (comprendiendo la fuerza como causa y aceleración como efecto) y reconociendo que una interacción produce cambios en el movimiento; así, una variación en la fuerza implica una variación en la aceleración.

Por su lado, las **habilidades cognitivo-lingüísticas** permiten describir, definir, resumir, explicar y argumentar dichas interpretaciones. En particular, al decodificar correctamente el significado de símbolos en expresiones como $\vec{p} = m \cdot \vec{v}$, entonces no solo se es capaz de interpretar que se trata del momento lineal como una magnitud que depende de la masa y la velocidad, sino también de expresarlo adecuadamente en lenguaje verbal para explicar y argumentar fenómenos físicos.

Ambas dimensiones se integran en la construcción del **conocimiento científico**, donde se articulan conceptos, leyes y métodos propios de la disciplina para comprender los fenómenos estudiados (Boscolo, 2022). Por ejemplo, al aplicar razonamiento lógico, se puede formular que la fuerza corresponde a la variación temporal de la cantidad de movimiento, y se representa mediante la expresión simbólica:

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} \quad (5)$$

En consecuencia, se infiere que el lenguaje científico no solo transmite conocimiento, sino que lo estructura.

Desde una perspectiva didáctica, enseñar Física implica enseñar explícitamente su lenguaje. No basta con resolver ejercicios numéricos; es necesario promover espacios de argumentación oral y escrita mediante el uso de técnicas adecuadas para que los estudiantes expliquen, justifiquen y expresen sus ideas con mayor facilidad.



2.4. Niveles de escritura y su impacto en la cognición científica

Graham et al. (2020), Klein y Boscolo (2022) y Prainy Hand (2019) coinciden en que la escritura promueve aprendizaje significativo cuando deja de ser un simple registro y se convierte en una herramienta para transformar el conocimiento. Esto ocurre cuando el estudiante reorganiza ideas, integra conceptos, reflexiona sobre su propio proceso y construye explicaciones que articulan la teoría con la evidencia en estructuras coherentes.

En la educación superior es frecuente asumir que la producción escrita, por sí misma, garantiza aprendizaje. Sin embargo, la investigación contemporánea en didáctica de las ciencias ha demostrado que no todas las formas de escritura promueven procesos cognitivos de nivel superior.

Bajo este enfoque, tal como se observa en la Figura 2, los niveles de escritura pueden organizarse jerárquicamente según el tipo de procesos cognitivos que movilizan: Escritura reproductiva, escritura organizativa, escritura epistémica.



Figura 2: Clasificación de la escritura según los procesos cognitivos que movilizan. Nota: Elaboración propia con base en Vygotsky (1978) y modelos de escritura epistémica.

Mientras la escritura reproductiva se limita a la transcripción mecánica de información, la escritura organizativa favorece cierta estructuración conceptual. Sin embargo, solo la escritura epistémica activa procesos de razonamiento científico profundo, al exigir explicar, justificar y argumentar con base en modelos y evidencias.

Desde esta clasificación, la calidad cognitiva de la escritura no depende de la extensión del texto ni del soporte utilizado (papel o digital), sino del tipo de operaciones mentales que se movilizan durante su producción.

2.5. Escritura científica como herramienta para aprender Física

Para ilustrar los niveles de escritura de la Figura 2 en el contexto de la Física, se presenta un ejemplo basado en una práctica experimental orientada al estudio de la segunda ley de Newton. A partir de esta situación, es posible identificar cómo los estudiantes movilizan distintos niveles de escritura durante el desarrollo de la actividad:

1. Al aplicar una **escritura reproductiva**, el estudiante se limita a transcribir procedimientos o ejecutar cálculos de las preguntas que se presentarían en una guía de laboratorio estructurada y cerrada. En este caso, el impacto cognitivo es bajo, ya que no se promueve una comprensión del fenómeno físico estudiado.
2. En un nivel intermedio, correspondiente a la **escritura organizativa**, el estudiante estructura, clasifica y relaciona la información. Esto implica organizar datos experimentales, analizar gráficas y vincular variables. Así, el estudiante identifica patrones como la proporcionalidad entre fuerza y aceleración, relacionando los resultados con la segunda ley de Newton $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$. Esto implica un impacto cognitivo más alto, aunque aún limitado en términos de construcción de significado.
3. En el nivel de **escritura epistémica**, el estudiante interpreta, explica y construye conocimiento a partir de los resultados. En este contexto, además de concluir que



la aceleración depende directamente de la fuerza aplicada, en concordancia con la segunda ley de Newton, justifica las desviaciones observadas atribuyéndolas a factores como la fricción, reconociendo así que el sistema no es ideal. De este modo, evalúa las condiciones experimentales y construye explicaciones fundamentadas. Aquí el impacto cognitivo es alto porque el estudiante no solo aplica conceptos, sino que los transforma al interpretar resultados, evaluar las condiciones experimentales y articular la teoría con la evidencia.

Sin embargo, no es necesario considerar que los tres niveles de escritura se presenten de forma aislada, ya que pueden coexistir y superponerse en una misma actividad. La Figura 3 sintetiza visualmente la naturaleza procesual de la escritura científica en el aprendizaje de la Física. Como se observa, más que etapas independientes, se identifican distintos grados de elaboración del conocimiento que se articulan dinámicamente durante el proceso de escritura.



Figura 3: Escritura científica como proceso cíclico para el aprendizaje de la Física. Nota: elaboración propia basada en enfoques de escritura epistémica; diseño visual asistido con Google Gemini.

En este sentido, la actividad escrita en un informe de laboratorio favorece un tránsito progresivo desde la reproducción de información hacia su

organización y, finalmente, su transformación en conocimiento, promoviendo la integración de los aprendizajes en estructuras cognitivas más complejas.

2.6. La importancia de la oralidad en el aprendizaje de las ciencias

El desarrollo de competencias científicas no puede limitarse al uso de ecuaciones, algoritmos matemáticos o procedimientos, sino que implica apropiarse de las formas de comunicación propias de la ciencia. En este sentido, la oralidad disciplinar (entendida como la capacidad de hablar ciencia con precisión, coherencia y dominio del vocabulario especializado) desempeña un papel fundamental en la construcción del conocimiento científico (Benoit, 2021).

Desde una perspectiva sociocognitiva, la comunicación oral en el aula permite a los estudiantes poner en juego sus comprensiones previas, confrontarlas con nuevas evidencias y negociar significados en interacción con sus pares y el docente, lo cual favorece la consolidación conceptual y el aprendizaje significativo.

En el ámbito de la educación científica, Cantabrana (2013) argumenta que aprender ciencia implica análogamente el aprendizaje de una lengua extranjera y aprender a hablar ciencia, pues este tipo de lenguaje no se adquiere de manera espontánea, sino deliberada y guiada. Según este enfoque, el uso oral del lenguaje científico permite a los estudiantes expresar, revisar y reformular sus ideas, contribuyendo a desvelar y ajustar concepciones previas y a construir comprensiones progresivamente más sofisticadas.

Desde la perspectiva de la literacidad disciplinar, Benoit (2021) sostiene que las formas especializadas de la oralidad en ciencias (incluyendo debates, justificaciones verbales y explicaciones argumentadas) son parte inseparable de la práctica científica y de la construcción de significado en contextos



educativos. Esta oralidad disciplinar permite a los estudiantes no solo nombrar conceptos científicos, sino hacerlos operativos en discusiones que exigen justificar afirmaciones con evidencia y utilizar vocabulario técnico de manera apropiada (Van Dijk et al., 2022).

En este contexto, el uso adecuado del lenguaje científico permite expresar relaciones causales, distinguir y caracterizar conceptos, además de evitar ambigüedades propias del lenguaje cotidiano. Shanahan y Shanahan (2012) destacan que cada disciplina desarrolla formas específicas de hablar, leer y escribir que estructuran la construcción del conocimiento.

3. CONCLUSIONES

En respuesta a la pregunta orientadora, se concluye que hablar y escribir ciencia constituyen condiciones necesarias para el aprendizaje ya que permiten la articulación entre el pensamiento, el lenguaje y los modelos teóricos de la Física. A través del uso del lenguaje científico, los estudiantes llegarán a niveles superiores de cognición.

Asimismo, se evidencia que las prácticas centradas en la reproducción de información presentan un alcance limitado en términos de comprensión conceptual. Además, la escritura epistémica, en articulación con la oralidad científica, se posiciona como un componente clave para el desarrollo del pensamiento científico, al promover procesos de argumentación, explicación y reflexión crítica.

Finalmente, en el contexto de la educación superior y particularmente en la enseñanza de la Física, resulta imprescindible integrar de manera intencional prácticas de escritura y oralidad epistémicas, con el fin de formar estudiantes capaces de comprender, argumentar y producir conocimiento científico, en coherencia con las demandas contemporáneas de la alfabetización científica avanzada.

Reflexión

Varias dificultades de aprendizaje no se originan únicamente en la complejidad de los conceptos, sino en la limitada apropiación del lenguaje científico por parte de los estudiantes. Con frecuencia, se identifica la memorización de ecuaciones y procedimientos sin alcanzar una comprensión reflexiva de su significado, lo que deriva en aprendizajes superficiales y efímeros.

Esta realidad conduce a reconocer que hablar y escribir ciencia no son actividades accesorias, sino procesos esenciales para que los estudiantes organicen sus ideas. Por lo cual, es importante promover espacios donde los estudiantes expliquen con sus propias palabras, argumenten resultados experimentales y utilicen adecuadamente el lenguaje científico lo que fortalece de forma significativa su razonamiento científico.

Cuando el aula se transforma en un entorno de comunicación científica, el aprendizaje adquiere mayor sentido y coherencia significativa. Desde esta perspectiva, resulta necesario cuestionar nuestras propias prácticas educativas:

¿Estamos enseñando a los estudiantes a pensar la Física mediante el lenguaje científico, o solo a repetirla sin comprenderla?

4. REFERENCIAS

- Applebee, A. N. (1984). Writing and reasoning. Review of Educational Research, 54(4), 577-596. <https://doi.org/10.3102/00346543054004577>
- Benoit Ríos, C. (2021). La oralidad en el aula: percepciones de profesores en formación de lenguaje. Revista Cubana de Educación Superior, 40(1). Recuperado a partir de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0257-43142021000100014
- Cantabrana, B., Díez, B., Bordallo, J., Sánchez, M., & Hidalgo, A. (2013). Apropiación de terminología médica por estudiantes de primer curso del grado en medicina a través de prensa diaria. Formación Médica, 16(3), 145-151. <https://scielo.isciii.es/pdf/fem/v16n3/original3.pdf>
- Graham, S., Kihara, S., & MacKay, M. (2020). The effects of writing on learning in science, mathematics, and social studies: A meta-analysis.



Review of Educational Research. <https://doi.org/10.3102/0034654320914744>

- Gutiérrez Rodilla, B. M. (2005). El lenguaje de las ciencias. Gredos.
- Klein, P. D., & Boscolo, P. (2022). Writing to learn: A cognitive perspective. *Educational Psychologist*, 57(3), 193–206. <https://doi.org/10.1080/00461520.2022.2037795>
- Lemke, J. L. (1990). Talking science: Language, learning, and values. Ablex Publishing.
- Prain, V., & Hand, B. (2019). Writing for learning in science education. *International Journal of Science Education*, 41(7), 1–16. <https://doi.org/10.1080/09500693.2019.1575448>
- Redish, E. F. (2003). Teaching physics with the physics suite. Wiley.
- Sanmartí, N. (2007). 10 ideas clave: Evaluar para aprender. Graó.
- Sanmartí, N., Izquierdo, M., & García, P. (1999). Hablar y escribir: Una condición necesaria para aprender ciencias. Cuadernos de Pedagogía.
- Shanahan, T., & Shanahan, C. (2012). What is disciplinary literacy and why does it matter? *Topics in Language Disorders*, 32(1), 7–18. <https://doi.org/10.1097/TLD.0b013e318244557a>
- Van Dijk, T. A. (2022). What types of writing-to-learn instruction lead to knowledge development across disciplines? *Review of Education*. <https://doi.org/10.1002/rev3.3340>
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Harvard University Press.

INFORMACIÓN DE LA REVISTA

Praxis

Revista del Centro de Física-UCE

<https://revistasdivulgacion.uce.edu.ec/index.php/>

e-ISSN : 3103-1323

Periodicidad: Cuatrimestral

Edición: Núm. 9, abril 2026

e-mail: revista.praxis@uce.edu.ec

Sección

Laboratorio en Acción



Construcción de un telescopio refractor de bajo costo: una propuesta didáctica para la enseñanza de la óptica

Construction of a Low-Cost Refracting Telescope: a didactic proposal for teaching optics

 Jairo Guerrero-Gavilanez ¹,  Erick Celorio-Rodríguez ²,  Johan Torres-Rojas ³,  Jorge Guachamín-Aconda ^{4*}

¹Universidad Central del Ecuador, Facultad de Filosofía. Quito, Ecuador. Correo: jsguerrero1@uce.edu.ec

²Universidad Central del Ecuador, Facultad de Filosofía. Quito, Ecuador. Correo: escelorio@uce.edu.ec

³Universidad Central del Ecuador, Facultad de Filosofía. Quito, Ecuador. Correo: jftorresr1@uce.edu.ec

⁴Universidad Central del Ecuador, Centro de Física. Quito, Ecuador. Correo: joguachamin@uce.edu.ec

Recibido 15 de febrero de 2026; aceptado 21 de marzo de 2026; publicado 06 de abril de 2026

Resumen

El presente artículo describe el diseño, construcción y caracterización experimental de un prototipo de telescopio refractor tipo kepleriano, desarrollado como una propuesta para la enseñanza de la óptica geométrica. El sistema óptico se construyó con un lente objetivo convergente de 75 mm de diámetro y distancia focal aproximada de 540 mm, junto con un ocular compuesto por cuatro lentes convergentes con distancia focal efectiva cercana a 30 mm. El prototipo se ensambló utilizando materiales accesibles, principalmente tubos de polivinilcloruro (PVC), incorporando un mecanismo de enfoque deslizante y un acoplador para captura digital mediante cámara web. A partir de pruebas de observación terrestre y lunar se calibraron rangos de enfoque entre 2 m e infinito, y se verificó una magnificación aproximada de 18×, coherente con el modelo teórico de lentes delgadas. Las observaciones permitieron identificar aberraciones cromáticas propias del uso de lentes simples, así como limitaciones en la captura digital a distancias superiores a 40 m. Se concluye que es posible construir un telescopio funcional de bajo costo (52,00 USD) con potencial para ser utilizado como recurso en la enseñanza experimental de la óptica y la astronomía.

Palabras clave: Telescopio kepleriano; óptica geométrica; recurso didáctico; lentes convergentes; bajo costo; educación en física.

Abstract

This article describes the design, construction, and experimental characterization of a Keplerian refracting telescope prototype, developed as a proposal for teaching geometric optics. The optical system was built with a 75 mm diameter converging objective lens with an approximate focal length of 540 mm, together with an eyepiece composed of four converging lenses with an effective focal length close to 30 mm. The prototype was assembled using accessible materials, mainly polyvinyl chloride (PVC) pipes, incorporating a sliding focus mechanism and an adapter for digital capture via a webcam. From terrestrial and lunar observation tests, focus ranges between 2 m and infinity were calibrated, and an approximate magnification of 18× was verified, consistent with the theoretical thin lens model. The observations revealed chromatic aberrations inherent to the use of simple lenses, as well as limitations in digital capture at distances beyond 40 m. It is concluded that it is possible to build a functional, low-cost telescope (USD 52.00) with the potential to be used as a resource in the experimental teaching of optics and astronomy evident.

Keywords: Keplerian telescope; geometric optics; didactic resource; converging lenses; low-cost; physics education.

* Autor de correspondencia: joguachamin@uce.edu.ec



Este artículo está publicado bajo la licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)



1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la ciencia y la tecnología ha estado históricamente vinculado a la creación y perfeccionamiento de instrumentos que permiten ampliar las capacidades sensoriales del ser humano. En este contexto, los instrumentos ópticos, desde dispositivos simples como la lupa hasta instrumentos complejos como los telescopios espaciales, han desempeñado un papel fundamental al permitir la observación y comprensión de fenómenos naturales, tanto a escala microscópica como astronómica. Desde el punto de vista educativo, estos instrumentos constituyen recursos de alto valor didáctico, ya que permiten vincular la teoría con la experimentación directa, transformando conceptos abstractos en experiencias observables y facilitando así un aprendizaje significativo.

A pesar de la importancia de estos instrumentos, la observación de objetos lejanos ha representado históricamente una limitación para el ser humano debido a las capacidades restringidas del sistema visual. Si bien existen telescopios comerciales de alto rendimiento, su costo elevado y su limitada disponibilidad dificultan su acceso en contextos educativos, especialmente en instituciones con recursos económicos restringidos. Esto, en consecuencia, disminuye las oportunidades de que los estudiantes interactúen directamente con este tipo de instrumentos, lo que limita el aprendizaje experimental y el desarrollo de competencias científicas.

En el marco de la carrera de Pedagogía de las Ciencias Experimentales Matemática y Física, surge la necesidad de abordar esta limitación mediante el diseño de soluciones prácticas y accesibles. Por esta razón, el presente trabajo tiene como objetivo aplicar los principios de la óptica geométrica para diseñar y construir un prototipo funcional de telescopio astronómico de tipo kepleriano, empleando un sistema de lentes convergentes y materiales de bajo costo, verificando su funcionamiento óptico mediante la experimentación y la teoría de lentes delgadas, de modo que pueda ser utilizado con

finés educativos y demostrativos, facilitando la comprensión de principios ópticos de manera práctica.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Refracción de la luz

El funcionamiento de los instrumentos ópticos se sustenta en los principios de la óptica geométrica, particularmente en el fenómeno de la refracción. La *refracción de la luz* se define como el cambio de dirección que experimenta un rayo de luz al pasar de un material a otro, como del aire al vidrio, tal como se ilustra en la Figura 1 (izquierda). Al incidir sobre la superficie del vidrio con cierto ángulo, el rayo se desvía acercándose a la normal (línea perpendicular a la superficie). Este fenómeno, responsable de que las lentes puedan enfocar la luz (Figura 1 derecha), ocurre porque la luz se desplaza más lentamente dentro del vidrio que en el aire.

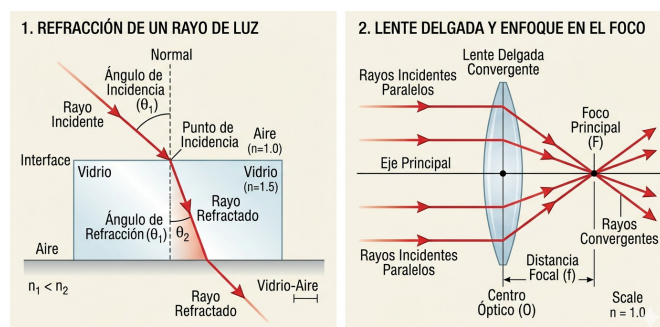


Figura 1: A la izquierda se muestra un rayo de luz incidente que cambia de dirección al pasar del aire al vidrio, fenómeno óptico denominado *refracción de la luz*. A la derecha, se aplica este mismo principio de refracción a un objeto diseñado específicamente: la *lente convergente* (Fuente: Imagen generada por IA, Gemini.)

En este proceso, el aire tiene un índice de refracción n_1 (cercano a 1), mientras que el vidrio tiene un índice de refracción n_2 (mayor que 1). La relación entre estos índices y los ángulos del rayo incidente y refractado está dada por la **Ley de Snell** (Giancoli, 2006), relación matemática que se expresa mediante la ecuación (1)

$$n_1 \cdot \sin \theta_1 = n_2 \cdot \sin \theta_2 \quad (1)$$

Donde:



- n : representa el índice de refracción de cada medio.
- θ : los ángulos de incidencia y refracción.

El **índice de refracción** (n) es una propiedad intrínseca de cada material que cuantifica la resistencia óptica que este ofrece al paso de la luz (Young & Freedman, 2013), definiéndose mediante la siguiente expresión:

$$n = \frac{c}{v} \quad (2)$$

Donde:

- n : Es el índice de refracción del medio.
- c : Es la velocidad de la luz en el vacío.
- v : Es la velocidad de la luz en un medio material, siempre menor que c .

2.2. Lentes delgadas

Sobre la base de estos principios se diseñan las **lentes convergentes**, también denominadas positivas, las cuales se caracterizan geométricamente por presentar un espesor mayor en el centro que en los bordes. Su propiedad funcional más relevante es la capacidad para hacer converger los rayos refractados en un punto común denominado foco principal, tal como se ilustra en la Figura 1 (derecha) (Tipler & Mosca, 2010, p. 1045).

En esencia, una lente desvía los rayos de luz de tal forma que estos forman una imagen de un objeto. Cuando los rayos se juntan, se forma una *imagen real* que puede verse en una pantalla; en cambio, si los desvía, forma una *imagen virtual* que solo puede verse al mirar a través de la lente, como ocurre con una lupa (véase Figura 2).

El tipo de imagen y el lugar donde se forma puede determinarse mediante la **ecuación de las lentes** delgadas, la cual relaciona la distancia focal de la lente con las distancias del objeto y la imagen, y se expresa como:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'} \quad (3)$$

Donde:

- f : Distancia focal de la lente.
- s : Distancia del objeto a la lente.
- s' : Distancia de la lente a la imagen.

Esta ecuación aplica a las lentes convergentes, siempre que se cumpla la aproximación de lente delgada, es decir, cuando el espesor de la lente es mucho menor que su radio de curvatura y que su distancia focal (Serway & Jewett, 2009).

2.3. Telescopio refractor

Un telescopio refractor es un instrumento óptico que utiliza lentes para captar la luz de objetos lejanos y formar una imagen ampliada, funcionando gracias al fenómeno de la refracción. Tal como se observa en la Figura 2, el telescopio está compuesto por dos elementos principales. El primero es el lente objetivo, ubicado en la parte frontal del instrumento, cuya función es recoger la luz proveniente de objetos distantes y refractarla hacia el punto focal, formando una imagen real e invertida (Serway & Jewett, 2009; Young & Freedman, 2013). El segundo es el ocular, situado en el extremo posterior, el cual toma esa imagen real formada en el foco y la magnifica, permitiendo que el ojo del observador la perciba como una imagen virtual más grande y brillante (Tipler & Mosca, 2010). De este modo, el objetivo se encarga de capturar y enfocar la luz, mientras que el ocular actúa como una lupa para ampliar los detalles que a simple vista resultarían imperceptibles.

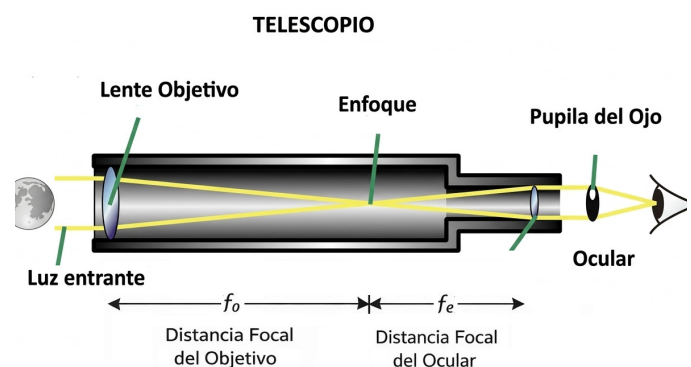


Figura 2: Funcionamiento de un telescopio refractor: el lente objetivo forma una imagen real e invertida de un objeto lejano en el plano focal, la cual es ampliada por el ocular para producir una imagen virtual observable por el ojo del observador (Imagen generada por IA, Gemini).



Se dice que un telescopio opera en condición afocal cuando los rayos de luz que ingresan paralelos al objetivo emergen paralelos del ocular (Figura 2). Esta configuración es especialmente útil porque el ojo humano en reposo está adaptado para enfocar objetos en el infinito, es decir, rayos paralelos. Para lograr esta condición, la separación entre el objetivo y el ocular debe ser igual a la suma de sus distancias focales (ecuación 3), de modo que la imagen formada por el objetivo coincida con el foco del ocular y los rayos salgan paralelos hacia el observador (Serway & Jewett, 2009).

$$L = f_o + f_e \quad (3)$$

Donde:

- L : distancia entre el objetivo y el ocular
- f_o : distancia focal del objetivo
- f_e : distancia focal del ocular

2.4. Clasificación de telescopios refractores

En el caso particular de los telescopios refractores, existen dos configuraciones históricas fundamentales. La primera es el telescopio galileano, que combina una lente objetivo convergente de larga distancia focal con un ocular divergente de distancia focal corta (una lente que dispersa los rayos de luz en lugar de juntarlos). Esto tiene como ventaja la formación de una imagen final derecha. Sin embargo, presenta limitaciones como un campo de visión estrecho y la ausencia de una pupila de salida real externa.

Por su parte, el telescopio kepleriano, fundamenta su arquitectura exclusivamente en el uso de dos lentes convergentes: un objetivo de larga distancia focal, encargado de recolectar la luz, y un ocular de distancia focal corta que funciona como magnificador. En este caso, el "lente objetivo forma una imagen real e invertida del objeto distante en su plano focal, la cual es luego observada a través del ocular que actúa como lupa" (Serway y Jewett, 2009, p. 1025),

2.5. Aumento angular del telescopio

La magnificación angular, determina el aumento del telescopio, siendo uno de los parámetros fundamentales para su caracterización, y viene dado por

$$M = -\frac{f_{obj}}{f_{oc}} \quad (4)$$

Donde:

- M : es la magnificación angular (adimensional)
- f_{obj} : distancia focal del objetivo
- f_{oc} : distancia focal del ocular

El signo negativo indica que la imagen final está invertida. Como se observa en la ecuación 4, cuanto mayor sea la magnificación angular M , más grande se verá un objeto al observarlo a través de un telescopio, lo que permitirá apreciar más detalles.

3. CONSTRUCCIÓN DEL TELESCOPIO

El presente trabajo consistió en el diseño, construcción y evaluación de un telescopio refractor de tipo kepleriano, empleando materiales de bajo costo, con el fin de verificar su funcionamiento óptico y su potencial didáctico. A continuación, se describen los materiales y equipos utilizados, el diseño del sistema óptico y el procedimiento experimental seguido para su construcción.

3.1 Materiales y equipos

En la Figura 3 se observan todos los materiales que conforman el sistema óptico, mecánico y de digitalización del telescopio construido. Los componentes se organizaron en tres categorías principales según su función.

1. Sistema óptico: se emplearon lupas comerciales como lentes debido a su bajo costo y fácil disponibilidad. Como lente objetivo se utilizó una lupa convergente biconvexa de 75 mm de diámetro y distancia focal aproximada de 540 mm, encargada de captar la luz de objetos lejanos y formar una imagen real dentro del tubo. Para el ocular, se emplearon cuatro lupas convergentes



pequeñas (también biconvexas) con una distancia focal efectiva cercana a los 30 mm, cuya función es magnificar la imagen formada por el objetivo.

2. **Estructura mecánica:** se utilizaron tubos de PVC de 3 pulgadas para el cuerpo principal y de 2 pulgadas para el tubo deslizante, complementados con uniones y reductores de PVC modificados para sujetar las lentes. Se aplicó pintura negra mate al interior de los tubos para absorber luz parásita y mejorar el contraste.
3. **Digitalización:** se adaptó una cámara web estándar a la que se le removió la lente original para exponer el sensor CMOS directamente al plano focal, acoplándola mediante un adaptador rígido fabricado a medida. El sistema se completó con un trípode fotográfico comercial para garantizar la estabilidad mecánica durante las observaciones.



Figura 3: Componentes del telescopio refractor kepleriano: lentes biconvexas (objetivo y ocular); tubos de PVC de 2 y 3 pulgadas, así como uniones y reductores que constituyen la estructura mecánica; además de un adaptador y trípode que soportan el sistema de captura digital.

3.2. Diseño del sistema óptico

Para determinar la distancia focal de cada lente,

se empleó el método de enfoque al infinito: se proyectó la imagen del Sol sobre una superficie y se midió la distancia desde la lente hasta el punto donde se formaba la imagen nítida y de menor tamaño. De esta manera, se estableció que el lente objetivo (lupa grande) tiene una distancia focal aproximada de $f_{obj} = 540$ mm, mientras que el sistema ocular (conjunto de cuatro lentes pequeñas) presenta una distancia focal efectiva de $f_{oc} = 30$ mm.

Con estos valores, se calculó la magnificación angular teórica del telescopio (M) mediante la ecuación 4:

$$M = -\frac{540mm}{30mm} = -18 \times$$

Luego, para que el telescopio opere en condición afocal, separación óptica entre el objetivo y el ocular (L) debe ser igual a la suma de sus distancias focales:

$$L = 540mm + 30mm = 570mm$$

Esta distancia corresponde a la posición que deben ocupar las lentes dentro del tubo cuando se observa un objeto en el infinito. Sin embargo, para permitir el enfoque de objetos más cercanos (como los utilizados en las pruebas terrestres), se dimensionó el tubo principal con una longitud mayor (650 mm), proporcionando así un margen de desplazamiento para el mecanismo de enfoque deslizante.

La elección de cuatro lentes para el ocular respondió a dos razones principales: primero, porque una sola lente con distancia focal tan corta (aproximadamente 30 mm) no estaba disponible comercialmente entre los materiales de bajo costo accesibles; segundo, porque la combinación de múltiples lentes permite reducir las aberraciones ópticas al distribuir la refracción de la luz entre varias superficies, mejorando así la nitidez y la calidad general de la imagen (Hecht, 2017).

3.3 Montaje experimental

El montaje se desarrolló en cuatro fases secuenciales. En la **Fase 1, construcción del sistema mecánico**, se ensambló un sistema



telescopio coaxial integrando el tubo de menor diámetro (tubo de enfoque) dentro del principal mediante un adaptador de reducción de PVC. Para lograr un ajuste de fricción preciso, se implementó un sistema de compensación de diámetro utilizando capas calibradas de cinta adhesiva y papel en el exterior del tubo deslizante, permitiendo un movimiento suave pero estable.

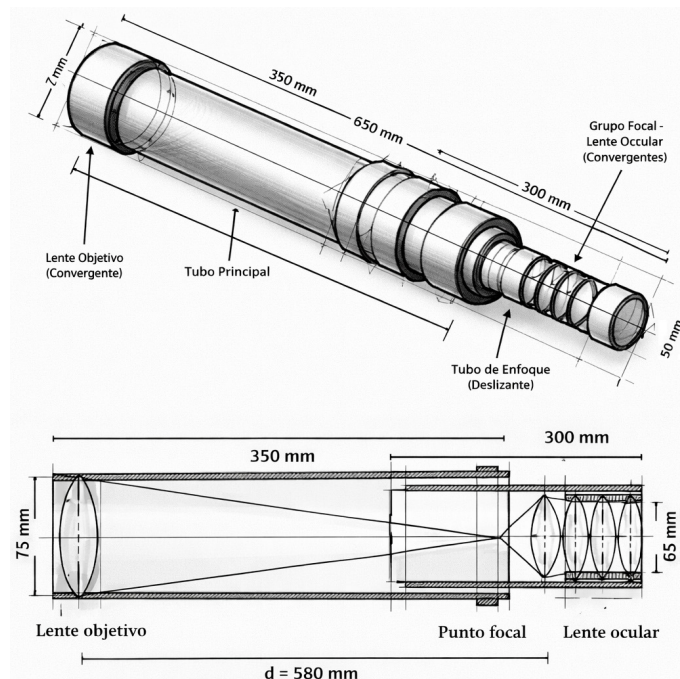


Figura 4. En la parte superior se muestra el esquema estructural del telescopio propuesto. En la parte inferior se muestra una vista lateral, identificando el lente objetivo, el tubo principal de 650 mm de longitud y el tubo de enfoque deslizante que aloja el ocular (Fuente: Imagen generada por IA, Gemini.)

La **Fase 2** consistió en el **ensamblaje óptico y montaje de lentes**. Para el objetivo principal, se utilizó una unión de PVC de 75 mm donde se asentó la lente biconvexa, asegurando su perpendicularidad al eje longitudinal del tubo. Las cuatro lentes del ocular se montaron dentro de un adaptador respetando el orden y orientación definidos, fijándolas mediante presión con anillos de retención fabricados con cartón para evitar daños y permitir futuras limpiezas (Véase Figura 4).

En la **Fase 3, integración digital y adaptación de cámara**, se diseñó y fabricó un cilindro rígido de material opaco que conecta físicamente el cuerpo de la cámara web con el ocular del telescopio. Esta pieza, denominada adaptador de cámara, se puede observar en la

parte posterior del telescopio, justo después del ocular, como se indica en la Figura 5. Esta pieza cumple la doble función de bloquear la entrada de luz ambiental y garantizar la alineación coaxial entre el sensor digital y la pupila de salida del sistema. La cámara se vinculó a un ordenador portátil mediante interfaz USB, utilizando software de captura de imagen en tiempo real para el monitoreo.

Finalmente, en la **Fase 4, estabilización y montaje en trípode**, se integró al cuerpo del telescopio una placa de montaje con rosca estándar de 1/4 de pulgada, permitiendo acoplar el instrumento de manera segura a un trípode fotográfico comercial (Véase Figura 5). Esta estabilización resultó indispensable, ya que la magnificación de 18× amplifica visualmente cualquier vibración microscópica, haciendo imposible la observación a mano alzada.

Finalmente, el telescopio kepleriano terminado se puede observar en la Figura 5, donde se muestran sus principales componentes y la disposición final del sistema, incluyendo el montaje en trípode y el acoplamiento del sistema de captura digital.



Figura 5. Telescopio kepleriano terminado. Se distingue el lente objetivo frontal, el tubo principal de PVC, el tubo deslizante para el enfoque y el ocular en el extremo posterior. Sobre el tubo se aprecia la placa de montaje para fijarlo a un trípode, mientras que en la parte final se observa el adaptador que permite acoplar una cámara web para captura digital.



4. RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados obtenidos durante las pruebas del prototipo de telescopio kepleriano. En esta etapa se registraron las distancias a las que se lograba un enfoque nítido, marcando físicamente en el tubo deslizante las posiciones correspondientes a cada rango de distancia. También se documentó cualitativamente la nitidez y el contraste de la imagen observada visualmente para objetos terrestres y astronómicos a distintas distancias. Adicionalmente, se evaluó el desempeño del sistema de captura digital, identificando la calidad de las imágenes obtenidas con la webcam y la aparición de aberración cromática en diferentes rangos de distancia. Finalmente, se determinó la magnificación efectiva del telescopio mediante la comparación visual del tamaño aparente de los objetos observados a simple vista y a través del instrumento.

4.1 Calibración del enfoque

El proceso de calibración del enfoque consistió en determinar el desplazamiento del ocular necesario para obtener imágenes nítidas de objetos ubicados a distintas distancias. Como punto de partida, se ajustó el telescopio para enfocar un objeto muy lejano (proceso conocido como "enfoque al infinito"), estableciendo así la posición de referencia (0 mm). Posteriormente, se seleccionó un objeto situado entre 2,09 m y 2,35 m, y se desplazó el ocular hasta obtener una imagen nítida. En este caso, fue necesario un desplazamiento de 206 mm respecto a la posición de referencia. Este procedimiento se repitió para los distintos rangos de distancia y objetos consignados en la segunda y tercera columna de la Tabla 1. Las distancias cortas se midieron con flexómetro, mientras que las largas se determinaron con Google Maps.

Como se observa en la Tabla 1, la separación entre los rangos de distancia no es uniforme, debido a que la relación entre la distancia del objeto y la posición de enfoque es no lineal, especialmente marcada en distancias cercanas. Los valores se expresan en rangos debido a la naturaleza experimental del ajuste manual del

enfoque.

Tabla 1

"Rangos de distancia observables y métodos de medición"

Calibración	Rangos de distancia	Objeto observado	Método de medición
206 mm	2,09 m – 2,35 m	Persona	Flexómetro
196 mm	2,50 m – 3,05 m	Persona	Flexómetro
184 mm	3,17 m – 4,17 m	Persona	Flexómetro
154 mm	4,38 m – 7,15 m	Persona	Flexómetro
117 mm	7,75 m – 600 m	Persona / estructura cercana	Flexómetro / Google Maps
71 mm	800 m – 2 km	Persona / estructura cercana	Google Maps
0 mm	Infinito	Objetos lejanos (enfoque mínimo)	Google Maps / Ajuste experimental

4.2 Observaciones terrestres

En observación terrestre, el telescopio permitió distinguir detalles de objetos ubicados a distintas distancias, como se muestra en la Figura 6. En dicha figura, las imágenes de la izquierda fueron tomadas con un teléfono celular como referencia, mientras que las de la derecha corresponden a las imágenes capturadas mediante el telescopio.

- Para una casa ubicada a 90 m (Figura 6a), se distingue claramente marcos, puertas y pasamanos (Figura 6b).
- Para un edificio a 250 m (Figura 6c), se aprecia una imagen con menor nitidez, pero con magnificación efectiva (Figura 6d).
- Finalmente, para una estructura ubicada a aproximadamente 4,5 km (la Virgen del Panecillo en Quito - Figura 6e), se distingue su forma general, pero no es posible apreciar detalles finos debido a la distancia y a las limitaciones del sistema óptico.

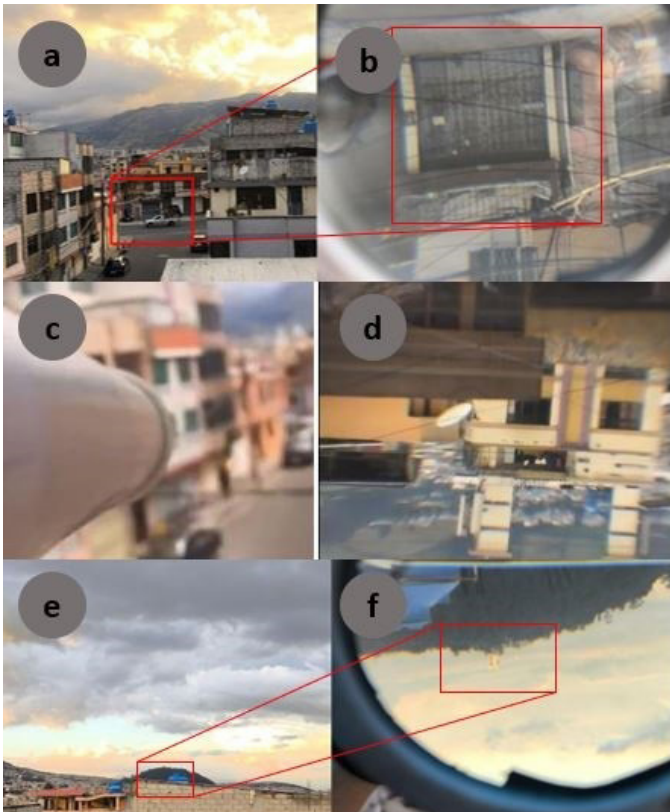


Figura 6. Comparación de observaciones realizadas con el telescopio diseñado. (a), (c) y (e): imágenes de referencia capturadas con un celular. (b), (d) y (f): imágenes obtenidas con el telescopio; arriba, casa a 90 m; en el centro, edificio a 250 m; abajo, Virgen del Panecillo a 4,5 km.

4.3 Observación Lunar

Durante la observación nocturna, se apuntó el telescopio hacia la Luna llena (ubicada aproximadamente a 384,400 km de distancia de la Tierra), obteniendo una imagen considerablemente ampliada donde se apreciaron manchas y relieves perceptibles, como se muestra en la Figura 7. En la Figura 7a se observa la imagen de la Luna tomada con un teléfono celular como referencia, sin aumento. En la Figura 7b se aprecia la imagen capturada con el telescopio, donde se distinguen manchas lunares con claridad. En la Figura 7c se evidencia un detalle ampliado de la superficie lunar, resaltando los relieves y texturas. Finalmente, en la Figura 7d se puede observar el efecto de la aberración cromática, manifestada como halos de color en los bordes de la imagen, atribuibles a la intensa luminosidad y a las limitaciones del sistema óptico, específicamente al uso de lentes simples no acromáticas.

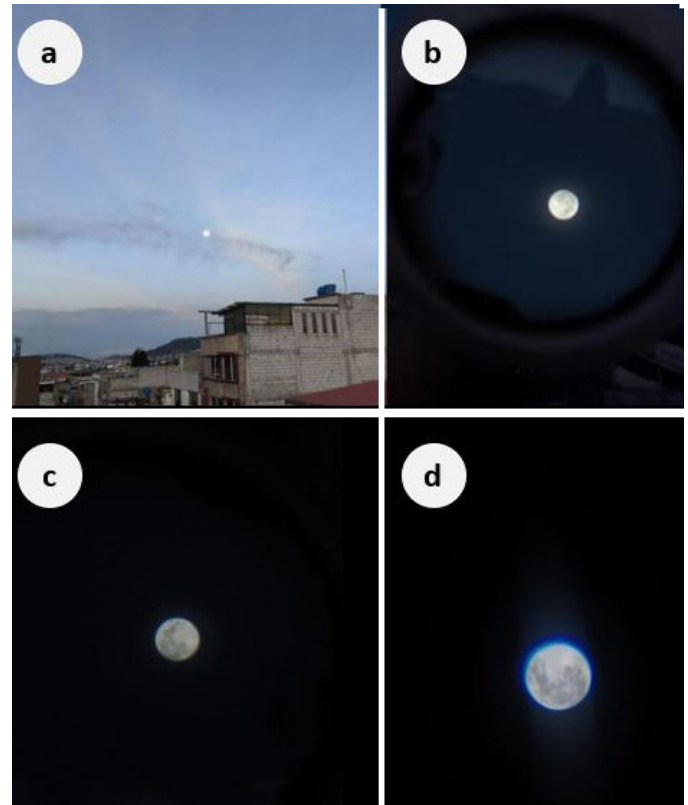


Figura 7. Observación de la Luna llena. Arriba izquierda (a): imagen de referencia con celular. Arriba derecha (b): imagen capturada con el telescopio, donde se distinguen manchas lunares. Abajo izquierda (c): detalle ampliado de la superficie lunar. Abajo derecha (d): aberración cromática evidente como halos de color en los bordes.

4.4 Desempeño del sistema de captura digital

Se integró un sistema de captura digital mediante webcam acoplada al ocular, como se visualiza en la Figura 8. En la parte superior de la figura se observa el planetario del Instituto Geográfico Militar tomado con un teléfono celular sin aumento, donde apenas se distingue el edificio. En la parte inferior se aprecia la misma estructura capturada con la webcam a través del telescopio, logrando visualizar la cúpula del edificio, aunque con pocos detalles y con presencia de aberración cromática. En términos de registro, la webcam fue funcional en rangos cortos e intermedios, pero se identificó una degradación notable a partir de distancias cercanas a 40–50 m, con pérdida de definición y aparición de aberración cromática, lo que limita su uso en distancias mayores.



Figura 8. Comparación del sistema de captura digital. Arriba: imagen sin aumento de un planetario ubicado a 2,2 km (capturada con teléfono celular). Abajo: la misma estructura observada a través del telescopio diseñado, donde se distingue la cúpula con bajo nivel de detalle y presencia de aberración cromática.

4.5 Estabilidad mecánica

Se comparó la estabilidad del sistema con y sin el uso de trípode. Sin trípode, se registró un nivel de vibración alto con facilidad de enfoque media. Con trípode, el nivel de vibración se redujo a, bajo manteniendo una facilidad de enfoque media, lo que evidencia una mejora significativa en la estabilidad al incorporar el soporte mecánico.

4.6 Costo del prototipo

El costo total del prototipo ascendió a 52,00 USD, considerando la compra de lentes tipo lupa (8 unidades por 1,00 USD cada una), codos de PVC, tubos, pintura, una cámara web de 14,00 USD y un trípode de 15,00 USD. Cabe destacar que algunos materiales, como el tubo de 2 pulgadas y el cartón, procedieron de material reciclado sin costo adicional.

5. DISCUSIÓN

El desempeño del telescopio mostró una coherencia general con el comportamiento esperado de un refractor kepleriano artesanal. La magnificación teórica calculada mediante la ecuación 4 fue de aproximadamente 18×, considerando un objetivo de 540 mm y un ocular de 30 mm. Para verificar este valor de manera experimental, se midió el diámetro de la pupila de salida del telescopio, que resultó ser aproximadamente 4 mm. Aplicando la relación:

$$D_{salida} = \frac{D_{obj}}{M}$$

Donde:

- D_{salida} : diámetro de la pupila de salida, es decir, el disco de luz que se forma detrás del ocular y a través del cual la luz sale del telescopio hacia el ojo del observador.
- $D_{objetivo}$: diámetro del lente objetivo, que es la lente frontal del telescopio encargada de captar la luz.
- M : magnificación angular del telescopio.

obteniendo un valor cercano a 18,75×, lo que confirma de manera indirecta la magnificación calculada teóricamente. Las pequeñas variaciones observadas son atribuibles a la alineación manual de los componentes y a la calidad de las lentes utilizadas. Esta concordancia entre teoría y práctica es esperable en un sistema artesanal donde la magnificación depende principalmente de la razón de focales, mientras que la nitidez depende de factores mecánicos y de alineación.

Una de las ventajas fundamentales del diseño kepleriano adoptado es la formación de una imagen real intermedia. Se le denomina "intermedia" porque esta imagen se forma dentro del telescopio, entre el objetivo y el ocular, antes de ser nuevamente proyectada y magnificada por el ocular hacia el ojo del observador. Esta propiedad permitió verificar experimentalmente el funcionamiento del lente objetivo mediante la proyección de la imagen sobre una pantalla y, más importante aún, viabilizó la digitalización del instrumento al poder situar el sensor CMOS de la cámara web



directamente en el punto focal.

Durante las pruebas en condiciones de alta luminosidad, como en la observación lunar, se registró presencia de aberración cromática, observándose halos de color visibles alrededor de la imagen. Este fenómeno es consistente con el uso de lentes simples no acromáticas, ya que, como explica la Ley de Snell (Giancoli, 2006, p. 824), el índice de refracción varía con la longitud de onda, provocando que diferentes colores enfoquen en puntos ligeramente distintos. En observación terrestre mediante captura digital, la aberración cromática se evidenció especialmente a partir de 40–50 m, sumándose a la pérdida de definición y contraste del registro, comportamiento consistente con las limitaciones de sensores digitales al capturar bordes de alto contraste.

En la práctica, el mecanismo deslizante del ocular permitió enfocar objetos a diferentes distancias, aunque con limitaciones. Las principales restricciones observadas se concentran en: dependencia de la nitidez respecto a la alineación y estabilidad del instrumento, presencia de aberraciones cromáticas en condiciones de alta luminosidad, y limitaciones del sistema de captura digital a distancias mayores de 40-50 m. La dependencia de nitidez respecto al alineamiento se reconoce como un factor determinante del desempeño global, especialmente en observaciones de larga distancia.

El proyecto demuestra que es posible construir instrumentos ópticos didácticos de bajo costo que integren teoría y práctica, aportando un recurso valioso para la enseñanza de la física y la astronomía. La experiencia adquirida en la construcción, calibración y uso del telescopio confirma que las leyes fundamentales de la óptica geométrica (como la Ley de Snell, la ecuación de lentes delgadas y los principios de formación de imágenes) pueden ser demostradas experimentalmente con instrumentos accesibles, democratizando el acceso a la ciencia en contextos con recursos limitados.

6. CONCLUSIONES

El desarrollo del prototipo kepleriano permitió aplicar de manera integrada los principios de la óptica geométrica y las habilidades de construcción experimental propias de la carrera de Pedagogía de las Ciencias Experimentales. El uso exclusivo de lentes convergentes amplió el campo visual, generó una imagen real intermedia y facilitó la adaptación de un sensor digital, evidenciando así la armonía entre la teoría y la práctica.

El telescopio construido con materiales accesibles (principalmente tubos de PVC y lentes tipo lupa) demostró un funcionamiento estable tanto en observaciones terrestres como lunares tal como se puede visualizar en la Figura 6 y 7. La estructura cumplió con la rigidez mecánica necesaria para soportar el sistema óptico y el mecanismo de enfoque deslizante permitió ajustar con precisión la distancia focal para objetos ubicados entre 2 m y el infinito como se aprecia en la Tabla 1. Esto confirma que es posible fabricar un instrumento funcional de bajo costo (52,00 USD) que satisface las exigencias básicas de estabilidad y operatividad.

La magnificación experimental, cercana a 18×, corroboró la coherencia entre los cálculos de la teoría de lentes delgadas y el comportamiento real del sistema. Se verificó que la relación de la ecuación 4 predice adecuadamente el aumento del instrumento, cumpliendo así con el objetivo de caracterizar experimentalmente su funcionamiento óptico. No obstante, se detectaron limitaciones inherentes a los materiales empleados, como la aparición de aberración cromática en condiciones de alta luminosidad (especialmente en observación lunar, Figura 7) y la pérdida de nitidez en la captura digital a distancias mayores de 40 m como se aprecia en la Figura 8, lo cual señala áreas específicas de mejora para futuros prototipos.

El proyecto demuestra que es viable construir instrumentos ópticos didácticos de bajo costo que integren teoría y práctica, aportando un



recurso valioso para la enseñanza de la física y la astronomía. La experiencia adquirida en la construcción, calibración y uso del telescopio sienta las bases para el diseño de actividades pedagógicas y para futuras mejoras en el dispositivo, lo que favorecerá su aplicación en contextos educativos y de divulgación científica. Se confirma así que el objetivo general del estudio (aplicar los principios de la óptica geométrica para diseñar y construir un prototipo funcional con fines educativos) ha sido alcanzado satisfactoriamente.

7. REFERENCIAS

- Giancoli, D. C. (2006). Física: Principios con aplicaciones (6.^a ed., Vol. 2). Pearson Educación.
- Hecht, E. (2017). Óptica (5.^a ed.). Pearson Educación.
- Resnick, R., Halliday, D., & Krane, K. S. (2002). Física (5.^a ed., Vol. 2). Grupo Editorial Patria.
- Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2009). Física para ciencias e ingeniería (7.^a ed., Vol. 2). Cengage Learning.
- Tipler, P. A., & Mosca, G. (2010). Física para la ciencia y la tecnología: Electricidad y magnetismo (6.^a ed., Vol. 2). Editorial Reverté.
- Young, H. D., & Freedman, R. A. (2013). Física universitaria con física moderna (13.^a ed., Vol. 2). Pearson Educación.

INFORMACIÓN DE LA REVISTA

Praxis

Revista del Centro de Física-UCE

<https://revistasdivulgacion.uce.edu.ec/index.php/>

e-ISSN : 3103-1323

Periodicidad: Cuatrimestral

Edición: Núm. 9, abril 2026

e-mail: revista.praxis@uce.edu.ec

Sección

Física a través del tiempo



Cuando el tiempo se volvió preciso: el reloj de péndulo de Christiaan Huygens

When Time Became Precise: The Pendulum Clock of Christiaan Huygens

 Everzon Domínguez-Castillo*

Universidad Central del Ecuador, Centro de Física. Quito, Ecuador. E-mail: efdominguez@uce.edu.ec

Recibido 09 marzo de 2026; aceptado 26 de marzo de 2026; publicado 06 de abril de 2026

Resumen

La medición precisa del tiempo representó durante siglos un desafío científico y tecnológico. En 1656, el matemático y físico neerlandés Christiaan Huygens desarrolló el primer reloj de péndulo preciso, basado en el principio del isocronismo del péndulo observado previamente por Galileo Galilei. Este trabajo analiza el contexto científico en el que surgió este invento, las limitaciones de los relojes mecánicos anteriores y el funcionamiento del mecanismo que permitió mejorar notablemente la exactitud en la medición del tiempo. Asimismo, se analiza el perfeccionamiento del reloj de péndulo, destacando su versión de mayor precisión.

Palabras clave: Reloj de péndulo, medición del tiempo, isocronismo del péndulo, Christiaan Huygens, historia de la física.

Abstract

Accurate time measurement was a major scientific and technological challenge for centuries. In 1656, Christiaan Huygens developed the first precise pendulum clock, based on the principle of pendulum isochronism previously observed by Galileo Galilei. This paper analyzes the scientific context in which this invention emerged, the limitations of earlier mechanical clocks, and the mechanism that significantly improved timekeeping accuracy. It also reviews the subsequent development of time-measurement instruments.

Keywords: Pendulum clock, time measurement, pendulum isochronism, Christiaan Huygens, history of physics.

* Autor de correspondencia: efdominguez@uce.edu.ec



Este artículo está publicado bajo la licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)



1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad consultamos la hora en teléfonos móviles, relojes digitales o pantallas de computador casi sin reflexionar sobre ello. Sin embargo, durante gran parte de la historia medir el tiempo con precisión representó un desafío técnico y científico considerable.

Surge entonces una pregunta fundamental: ¿cómo lograron los científicos, de los siglos anteriores, construir dispositivos capaces de medir el tiempo con regularidad cuando aún no existían circuitos electrónicos ni relojes de cuarzo?

En el siglo XVII, el matemático y físico neerlandés Christiaan Huygens, cuya imagen se presenta en la Figura 1, se enfrentó precisamente a este problema. Inspirado por observaciones anteriores de Galileo Galilei, Huygens desarrolló el primer reloj de péndulo verdaderamente preciso, una invención que transformó la forma en que la humanidad medía el tiempo durante más de dos siglos.



Figura 1. Retrato de Christiaan Huygens (1629 – 1695), matemático y físico neerlandés que diseñó el primer reloj de péndulo en 1656, logrando por primera vez una medición más precisa del tiempo (Netscher, 2023).

2. DESARROLLO

2.1. Christiaan Huygens en el contexto de la revolución científica

Para entender el origen del reloj de péndulo, primero hay que situarnos en la Europa del siglo XVII. Se trataba de un período de profundas transformaciones en el conocimiento científico, en el que la comprensión del universo estaba cambiando rápidamente gracias a figuras como Johannes Kepler, René Descartes y Galileo Galilei. Durante esta época, la física comenzó a separarse progresivamente de la filosofía natural para convertirse en una ciencia basada en la observación, experimentación y matemáticas (Shapin, 2018).

En ese ambiente intelectual creció Christiaan Huygens, nacido en 1629 en el seno de una familia acomodada y muy influyente de los Países Bajos. Su padre, Constantijn Huygens, era diplomático, poeta y un hombre profundamente conectado con el mundo cultural y científico de Europa. Gracias a ello, el joven Huygens tuvo acceso a educación de primer nivel y estableció contacto con algunos de los pensadores más importantes de su tiempo (Herivel, 2025).

Huygens participó activamente en la comunidad científica europea. Mantuvo correspondencia con matemáticos y astrónomos de varios países y más tarde se vinculó con instituciones científicas emergentes, como la recién fundada Royal Society (Sociedad Real) de Londres y en la Académie des Sciences (Académica de Ciencias) en Francia. Su trabajo no se limitó al estudio de los relojes: también realizó importantes contribuciones en óptica, astronomía y mecánica. Sin embargo, su invento más influyente sería el reloj de péndulo (Britannica, 2025).

2.2. El problema de medir el tiempo con precisión

Antes del siglo XVII ya existían relojes mecánicos, pero su precisión era limitada. La mayoría utilizaba un mecanismo llamado escape de



rueda de corona con balancín. En este sistema una rueda dentada giraba impulsada por un peso o un resorte, mientras una barra oscilante detenía y liberaba su movimiento de manera alternada (Cartwright, 2023).

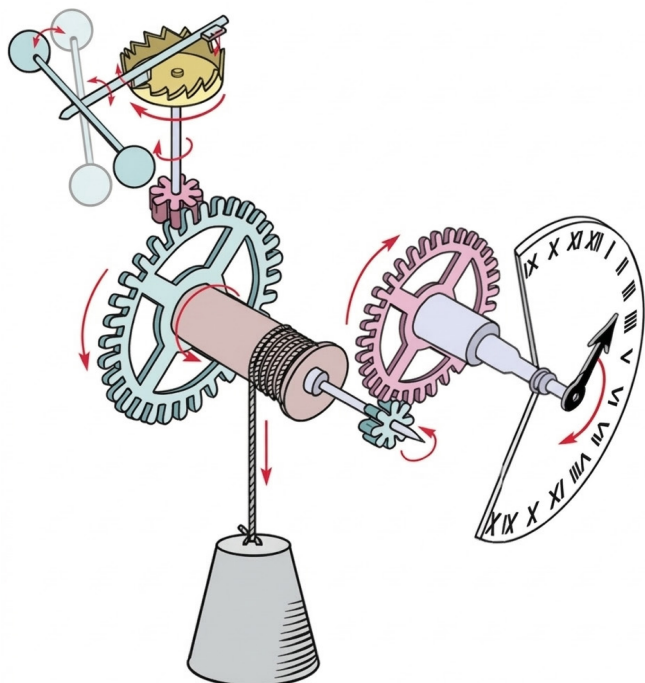


Figura 2. Diagrama de un reloj antiguo con mecanismo de escape de balancín, activado por la gravedad de un peso acoplado. Este sistema era notablemente impreciso, ya que su ritmo dependía directamente de la fuerza variable del peso y la fricción (Museo del Tiempo y los Relojes, s.f.)

Aunque este sistema permitía que el reloj avanzara paso a paso, el movimiento no era muy regular. Factores como la fricción, el desgaste de las piezas o pequeñas variaciones en el movimiento del balancín provocaban grandes errores acumulados.

En muchos casos estos relojes podían adelantarse o atrasarse entre 10 y 15 minutos por día, un margen de error que hoy resultaría inaceptable, pero que en aquella época era relativamente común. Para corregir estas desviaciones, las personas solían ajustar sus relojes tomando como referencia señales públicas, como los relojes de torre o campanarios, o bien mediante observaciones astronómicas sencillas, por ejemplo, identificando el mediodía cuando el sol alcanzaba su punto más alto en el cielo (Landes, 1983).

Aun así, la falta de precisión en la medición del tiempo se volvía un problema serio, especialmente para la astronomía y la investigación científica, dado que conocer la hora con exactitud era fundamental para realizar observaciones celestes más confiables y coordinar experimentos científicos con precisión (Rogers, 2022).

2.3. Galileo Galilei y el descubrimiento del isocronismo del péndulo

La idea clave que permitiría mejorar la precisión de los relojes había sido observada décadas antes por Galileo. Según la tradición, mientras observaba una lámpara oscilando en la catedral de Pisa, notó que el tiempo que tardaba en completar cada oscilación era prácticamente el mismo, incluso cuando el movimiento era más amplio o pequeño (Asimov, 2022).

Este fenómeno se conoce como isocronismo del péndulo. En la actualidad se sabe que el período de oscilación de un péndulo depende principalmente de su longitud y de la aceleración de la gravedad, siendo prácticamente independiente para pequeñas amplitudes del movimiento cuando las oscilaciones son pequeñas.

Teóricamente se sabe que el período T de un péndulo simple puede aproximarse mediante la expresión 1.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} \quad (1)$$

donde L es la longitud del péndulo y g la aceleración de la gravedad.

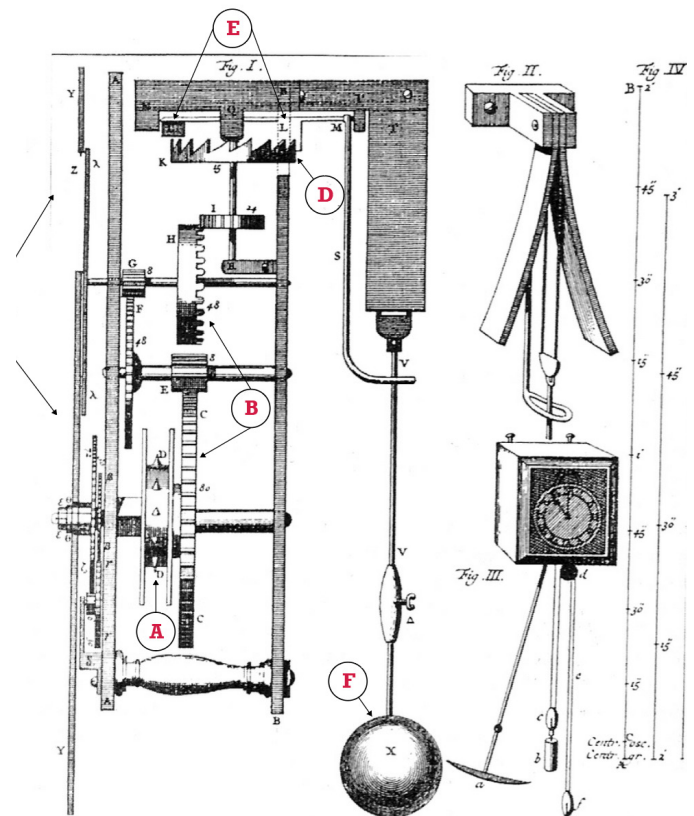
Esta relación implica que, si la longitud del péndulo se mantiene constante, el tiempo que tarda en completar cada oscilación también permanecerá prácticamente constante. A partir de sus observaciones, Galileo reconoció que esta regularidad podía utilizarse para medir el tiempo; sin embargo, nunca llegó a construir un reloj funcional basado en ella.

No obstante, existen bocetos y propuestas

Copia esatta del disegno che rappresenta il primo movimento dell'orologio pendolo del pontefice all'orologio, fatto da Galileo già vivo, al figlio Vincenzo e al discepolo Viviani, esistente nell'originale esistente nei manoscritti Galileiani della Biblioteca Vaticana P. VI. T. IV.

2.4. El ingenioso mecanismo del reloj de péndulo

El funcionamiento del reloj de péndulo se basa en la conversión y regulación controlada de la energía potencial gravitatoria. Como se ilustra en el diagrama detallado de la Figura 4, la fuente de energía es una pesa suspendida que está acoplada a un tambor (A) mediante una cuerda que desciende lentamente por efecto de la gravedad.



Al caer, la pesa libera energía que se transmite a través de un conjunto de engranajes multiplicadores de velocidad. El movimiento inicia desde la gran rueda dentada, y se propaga mediante piñones a ruedas sucesivas (B), incrementando la velocidad de giro hasta llegar al sistema de regulación. Este tren de rodaje no solo transmite la energía, sino que también lleva el movimiento hacia el mecanismo de las agujas del reloj (C) reduciendo la velocidad mediante una desmultiplicación precisa para que las manecillas avancen al ritmo adecuado



para marcar horas y minutos.

Para controlar y fragmentar este flujo de movimiento continuo, existe una pieza fundamental llamada mecanismo de escape. Como se aprecia en la parte superior de la Figura 4, este mecanismo (D) consta de una rueda con dientes de sierra que tiende a girar constantemente impulsada por la fuerza transmitida desde la pesa suspendida (A).

La rueda de escape (D) actúa como un regulador rítmico de la energía. Aunque intenta girar bajo tensión, es detenida y liberada alternativamente por unas paletas (E), que están conectadas a una varilla vinculada al péndulo oscilante (F).

De este modo, el mecanismo de escape (cuyo mecanismo se encuentra amplificado en la Figura 5) no solo controla el avance del reloj, permitiendo que la rueda avance un diente por cada oscilación, sino que también transfiere pequeños impulsos de energía al péndulo en cada ciclo. Estos impulsos compensan las pérdidas debidas a la fricción y a la resistencia del aire, permitiendo que el movimiento oscilatorio se mantenga estable en el tiempo (Kelly, 2007).

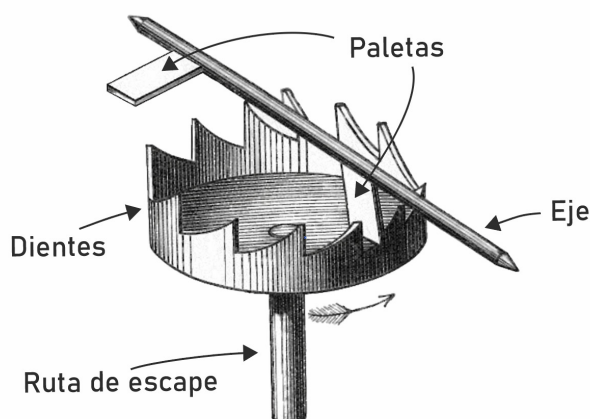


Figura 5. Ilustración del mecanismo de escape de un reloj de péndulo. Se observa la rueda de escape con dientes en forma de sierra, que gira de manera controlada, y la paleta que interactúa con dichos dientes. Este sistema permite liberar el movimiento de la rueda de forma intermitente, transmitiendo impulsos periódicos al péndulo y regulando así el avance del reloj. (Evers, 1860).

2.5. La trayectoria cicloidal y el perfeccionamiento del reloj de péndulo

Aun con un mecanismo bastante desarrollado, Christiaan Huygens observó que el período del péndulo del reloj no era constante cuando cambiaba la amplitud de las oscilaciones. Para mejorar la precisión, Huygens propuso incluir un mecanismo formado por dos placas metálicas en forma de mejillas que obligaría al péndulo a seguir una trayectoria cicloidal en lugar de un simple arco circular.

Una cicloide es la curva que describe un punto en el borde de una rueda al rodar sobre una superficie, tal como se muestra en la Figura 6A. Así, cuando el péndulo oscilaba, el hilo se apoyaba parcialmente sobre las mejillas, modificando su trayectoria y acercándola a una cicloide (Figura 6B). Con esta modificación Huygens logró un movimiento verdaderamente isócrono, es decir, el período se mantuvo constante independientemente de la amplitud de la oscilación (Rogers, 2022).

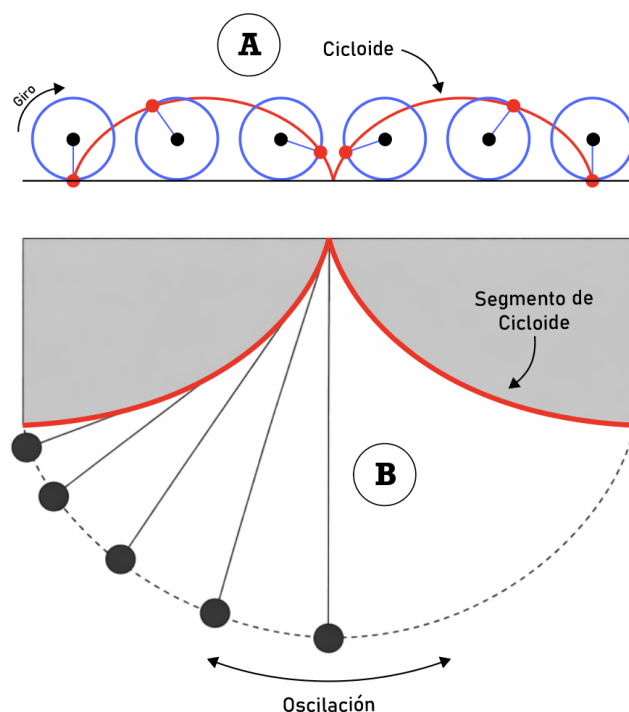


Figura 6. (A) Generación de una cicloide mediante el rodamiento de un círculo. (B) Se observa láminas laterales en forma de mejillas que obligan al péndulo a seguir una trayectoria cicloidal. Al garantizar un periodo de oscilación independiente de la amplitud (isocronismo), Huygens logró que el reloj de péndulo alcanzara una precisión sin precedentes en los relojes de la época (Nishiyama, 2013).



Aunque muchos relojes funcionaron con gran precisión sin este refinamiento adicional, la propuesta de Huygens mostró hasta qué punto la física y las matemáticas podían utilizarse para perfeccionar una máquina aparentemente simple.

Gracias a esta mejora en la precisión, los observatorios astronómicos pudieron realizar mediciones mucho más exactas del movimiento de los astros, permitió mejorar la sincronización de experimentos científicos y contribuyó al desarrollo de relojes públicos más confiables en ciudades europeas.

También benefició a la organización de las actividades diarias, ya que los relojes comenzaron a marcar el tiempo de manera más consistente que antes. Este avance contribuyó a transformar la forma en que las sociedades comprendían y utilizaban el tiempo. Dejó de ser una referencia aproximada y pasó a convertirse en una magnitud que podía medirse con bastante exactitud (Siegel, 2023).

2.6. La evolución del reloj de péndulo: Un avance en la precisión

Con el paso del tiempo, los relojeros fueron perfeccionando el diseño original del reloj de péndulo. Se desarrollaron péndulos más estables, mecanismos de escape más eficientes y sistemas para compensar los efectos de la temperatura, factores que podían afectar la exactitud del movimiento. Gracias a estas mejoras, algunos relojes de péndulo de alta precisión, conocidos como relojes reguladores, llegaron a presentar errores de apenas unos pocos segundos por semana, algo notable para un sistema completamente mecánico (Siegel, 2023).

El perfeccionamiento de esta tecnología continuó durante los siglos posteriores. Un ejemplo destacado es el Shortt-Synchronome clock, desarrollado en 1921 por el ingeniero británico William Hamilton Shortt. Este reloj utilizaba un sistema de dos péndulos sincronizados, donde el péndulo principal oscilaba dentro de una cámara de vacío para

minimizar la resistencia del aire, mientras que un péndulo secundario transmitía el movimiento al mecanismo del reloj, tal como se muestra en la Figura 7. Gracias a este diseño, el reloj de péndulo alcanzó una precisión extraordinaria, un desfase de un segundo por año, convirtiéndose durante varias décadas en uno de los relojes más precisos jamás construidos y siendo utilizado como referencia de tiempo en observatorios y laboratorios científicos (Matthys, 2004).

3. CONCLUSIONES

El desarrollo del reloj de péndulo representó un avance decisivo en la historia de la medición del tiempo. A partir de las observaciones

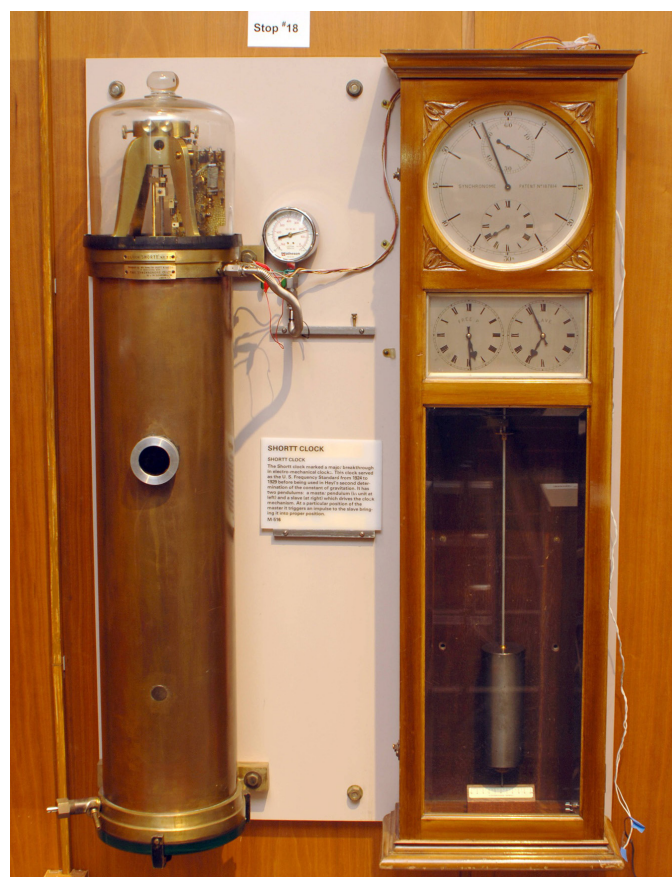


Figura 7. Reloj sincrónico Shortt (1921), compuesto por dos péndulos acoplados: el primario, ubicado en una cámara de vacío (izquierda), y el secundario (derecha), encargado de accionar el mecanismo del reloj. Este diseño permitía aislar el sistema regulador de perturbaciones externas y mejorar la estabilidad del movimiento (National Institute of Standards and Technology, 2023)

sobre el movimiento del péndulo realizadas por Galileo Galilei, Christiaan Huygens logró



transformar un fenómeno físico natural en un sistema mecánico capaz de regular con gran precisión el funcionamiento de un reloj.

La incorporación del péndulo como elemento regulador, junto con el uso de engranajes, pesas y el mecanismo de escape, permitió reducir drásticamente los errores que tenían los relojes anteriores. Lo que antes podía desviarse varios minutos al día pasó a medirse con una precisión sin precedentes para la época, marcando un punto de inflexión en la evolución de la relojería y en la capacidad de la ciencia para cuantificar el tiempo. Durante varias décadas estos relojes se utilizaron como referencia de tiempo en observatorios y laboratorios antes de la aparición de los relojes atómicos.

El reloj de péndulo de Huygens marcó un punto de inflexión en la historia de la ciencia. Al transformar un concepto físico, el movimiento oscilatorio, en una herramienta funcional, mejoró significativamente la medición del tiempo en su época. Este desarrollo destaca la importancia de traducir la teoría científica en aplicaciones concretas para resolver desafíos reales. Asimismo, su perfeccionamiento a lo largo del tiempo, evidenciado en diseños de alta precisión como el reloj de péndulo sincronizado de Shortt, demuestra cómo la mejora continua de estos sistemas permitió alcanzar niveles de exactitud sin precedentes dentro de la relojería mecánica.

4. REFERENCIAS

- Asimov, I. (2022). Momentos estelares de la ciencia. Alianza Editorial. Obtenido de <https://clementemat.wordpress.com/wp-content/uploads/2017/04/momentos-estelares-de-la-ciencia.pdf>
- Britannica, T. e. (2025). When was the pendulum clock invented? Obtenido de Encyclopedia Britannica: <https://www.britannica.com/question/When-was-the-pendulum-clock-invented>
- Cartwright, M. (2023). World History Encyclopedia. Obtenido de Los relojes en la Revolución Científica: <https://www.worldhistory.org/trans/es/2-2315/los-relojes-en-la-revolucion-cientifica/>
- ECURED. (2019). Reloj de péndulo. Obtenido de EcuRed: https://www.ecured.cu/Reloj_de_p%C3%A9ndulo#:~:text=largo%20del%20tiempo,-Funcionamiento,escape%20de%20%C3%A1ncora%20de%20Graham.
- Evers, H. (1860). A handbook of applied mechanics. Obtenido de https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=0G8DAAAQAQAJ&oi=fnd&pg=PA9&dq=A+handbook+of+applied+mechanics.+evers&ots=VJGe8546jX&sig=U0xfRugBuzDgcU9pCzfBuhwk-_o&redir_esc=y#v=onepage&q=A%20handbook%20of%20applied%20mechanics.%20evers&f=false
- Herivel, J. (2025). Christiaan Huygens. Obtenido de Enciclopedia Británica: <https://www.britannica.com/biography/Christiaan-Huygens>
- Ichim, D. (2025). SJX Watches. Obtenido de ¿Quién inventó la espiral?: <https://watchesbysjx.com/2025/02/hairspring-hooke-huygens.html#:~:text=Antes%20de%20que%20Huygens%20introdujera,Harrison%20con%20su%20cron%C3%B3metro%20marino%20.>
- Kelly, H. C. (2007). Clock Repairing as a Hobby. Skyhorse Publishing Inc. Obtenido de [https://books.google.com/ec/](https://books.google.com.ec/)
- Mathews, M. R. (2000). Time for Science Education. Springer Science & Business Media. Obtenido de [https://books.google.com/ec/](https://books.google.com.ec/)
- Matthys, R. J. (2004). Accurate Clock Pendulums. OUP Oxford. doi:<https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780198529712.002.0006>
- Museo del Tiempo y los Relojes. (s.f.). Obtenido de Mecanismos de relojes de torre: <https://www.watchmuseum.ru/portfolio/mekhanizmy-bashennykh-chasov>
- National Institute of Standards and Technology. (2023). NIST. Obtenido de The Second: Past, Present and Future: <https://www.nist.gov/si-redefinition/second-past>
- Nishiyama, Y. (2013). The brachistochrone curve: The problem of quickest descent. International Journal of Pure and Applied Mathematics, 409--419. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Yutaka-Nishiyama-2/publication/259604957_The_brachistochrone_curve_The_problem_of_quickest_descent/links/00b7d52ce2bcab572a000000/The-brachistochrone-curve-The-problem-of-quickest-descent.pdf
- Rediscovering pendulum clocks. (s.f.). Obtenido de Soprana: <https://www.soprana.com/clocks-timeandwatches/?lang=en>
- Rogers, C. (2022). Relojes de péndulo de Huygens. Obtenido de EBSCO: <https://www.ebsco.com/research-starters/history/huygenss-pendulum-clocks>
- Science Museum, London. (2023). World History Encyclopedia. Obtenido de Galileo's Design for a Pendulum Clock: <https://www.worldhistory.org/image/18067/galileos-design-for-a-pendulum-clock/>
- Shapin, S. (2018). The scientific revolution. University of Chicago press. Obtenido de [https://books.google.com/ec/](https://books.google.com.ec/)
- Siegel, E. (2023). La física de por qué falló el primer reloj de Estados Unidos. Obtenido de Big Think: <https://bigthink.com/starts-with-a-bang/physics-first-clock-america-failed/#:~:text=Un%20>



[reloj%2C%20dise%C3%B1ado%20y%20construido,la%20gravedad%20explica%20por%20qu%C3%A9.&text=Uno%20de%20los%20primeros%20relojes,lo%20largo%20de%20un%20mes.&text=Inventad](#)

INFORMACIÓN DE LA REVISTA

Praxis

Revista del Centro de Física-UCE

<https://revistasdivulgacion.uce.edu.ec/index.php/>

e-ISSN : 3103-1323

Periodicidad: Cuatrimestral

Edición: Núm. 9, abril 2026

e-mail: revista.praxis@uce.edu.ec

Sección Divulgación Científica



Revisión histórica del descubrimiento del electrón (Parte III): La Revolución Científica

Historical review of the discovery of the electron: The scientific revolution

 Jonathan Sánchez-Jácome*

Universidad Central del Ecuador, Centro de Física. Quito, Ecuador. E-mail: jsanchezj1@uce.edu.ec

Recibido 05 de marzo de 2026; aceptado 30 de marzo de 2026; publicado 06 abril de 2026

Resumen

Este trabajo examina los antecedentes intelectuales que propiciaron el surgimiento de la Revolución Científica, centrándose en la influencia de William Gilbert como precursor de esta transformación. Se explora cómo sus hipótesis y descubrimientos, particularmente el modelo heliocéntrico magnético, articularon un debate fundamental en el que figuras como Cabeo, Kepler y Descartes posicionaron la evidencia y la razón en el centro de debate para entender el cosmos. Asimismo, se analiza el papel de Galileo Galilei en la consolidación del método científico mediante la experimentación y el formalismo matemático. Finalmente, el artículo aborda la creación de la Royal Society de Londres como el hito de institucionalización del conocimiento. Si bien el estudio revisa pocos descubrimientos, establece el marco histórico e intelectual necesario para comprender el desarrollo de la teoría electromagnética.

Palabras clave: Revolución científica, Galileo Galilei, heliocentrismo, método científico, historia de la ciencia, electromagnetismo.

Abstract

This paper examines the intellectual background that fostered the emergence of the Scientific Revolution, focusing on the influence of William Gilbert as a precursor to this transformation. It explores how his hypotheses and discoveries, particularly the magnetic heliocentric model articulated a fundamental debate in which figures such as Cabeo, Kepler and Descartes positioned evidence and reason at the center of the discourse for understanding the cosmos. Furthermore, it analyzes the role of Galileo Galilei in the consolidation of the scientific method through experimentation and mathematical formalism. Finally, the article addresses the founding of the Royal Society of London as a milestone in the institutionalization of knowledge. While the study reviews few specific discoveries, it establishes the historical and intellectual framework necessary to understand the development of electromagnetic theory.

Keywords: Scientific Revolution, Galileo Galilei, heliocentrism, scientific method, history of science, electromagnetism.

* Autor de correspondencia: jsanchezj1@uce.edu.ec



Este artículo está publicado bajo la licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)



1. INTRODUCCIÓN

Si miramos hacia atrás, a lo ya abordado en esta serie, encontramos a William Gilbert como figura clave en los inicios de la ciencia moderna. Gilbert formuló la primera teoría electromagnética de carácter empírico, un logro que no solo destaca por su contenido, sino también por el contexto en el que lo hizo (Park, 1895).

Gilbert contó, por ejemplo, con el respaldo económico de la corona inglesa, se desenvolvió en un entorno libre de la censura inquisitorial y, sobre todo, adoptó el método experimental como camino hacia el conocimiento (Britannica Editors, 2025).

Durante el reinado de Isabel I, Inglaterra atravesaba una época considerada “dorada”. La cultura y la economía florecieron sin igual. En paralelo a Gilbert surgieron figuras como William Shakespeare y Christopher Marlowe. Así mismo ocurrían hitos económicos como la fundación de la Compañía de las Indias Orientales (Park, 1895).

Park, destaca esta conexión entre cultura, ciencia y desarrollo nacional cuando afirma que:

“[...] el progreso nacional no depende únicamente del crecimiento, por notable que sea, de la literatura culta, ni siquiera del comercio. Encuentra otra ayuda poderosa en la labor del investigador y el inventor, en la difusión del conocimiento de la ciencia física entre el pueblo, y en un entorno donde el descubrimiento y la invención serán sin duda apreciados, estimulados y fomentados. (1895)”

Sin embargo, el entorno de Gilbert distaba de ser el ideal. Inglaterra y la Europa del siglo XVII se encontraban en medio de una transformación social y cultural profunda (Osler et al., 2025). Así mismo el avance tecnológico permitió a los científicos de la época poner a prueba los antiguos dogmas y creencias (Hawking, 2020).

En este ámbito, el trabajo de Gilbert resonó a lo largo y ancho del viejo continente. Sus ideas sobre el modelo heliocéntrico magné-

tico brindaban una explicación basada en un fenómeno físico observable. En este y otros ámbitos, los científicos tomaron el ejemplo y empezaron a desarrollar sus propias ideas.

En el intento de entender la naturaleza, los científicos desataron un debate en el que la evidencia y la razón eran los protagonistas. Sin saberlo, se estaba gestando una revolución. Una revolución que cambiaría para siempre la manera en que la humanidad entiende la naturaleza (Osler et al., 2025). Era el inicio de la Revolución Científica.

2. LA REVOLUCIÓN CIENTÍFICA

A inicios del siglo XVII comenzó a gestarse un cambio profundo en la manera de entender el mundo. Durante siglos, el conocimiento había descansado en la autoridad de los textos clásicos griegos, especialmente en la obra de Aristóteles. Su física, integrada cuidadosamente con la teología cristiana medieval, era considerada prácticamente incuestionable (Park, 1895).

La naturaleza, según esta visión, respondía a un orden jerárquico y armónico dispuesto por voluntad divina. Cuestionar esa estructura era también poner en duda la cosmovisión católica (Adams, 1999).

Sin embargo, la observación sistemática y la experimentación empezaban a revelar inconsistencias. Un ejemplo clásico son los descubrimientos que hizo Gilbert, quien experimentalmente mostró que las fuerzas magnéticas y eléctricas no eran de carácter místico, sino más bien, eran propiedades materiales presentes en todas las sustancias. Así mismo, el movimiento retrógrado de los planetas no era sino un movimiento aparente, debido a que el Sol es el centro del sistema planetario y no la Tierra, como se había creído durante siglos (para mayor profundidad puede referirse a la segunda entrega de esta serie ([Ver aquí](#))).

2.1. Experimentos tempranos y precursores de la revolución científica



El cambio de paradigma hacia una forma más científica de comprender la naturaleza no fue repentino ni sencillo, sino que fue impulsado por una generación de pensadores que empezaron a privilegiar la experimentación por encima de la autoridad textual (Osler et al., 2025).

Entre ellos se encuentra Niccolò Cabeo, un monje jesuita que asumió con seriedad el estudio experimental de los fenómenos naturales. Cabeo refinó varios de los experimentos de Gilbert. Como se observa en la Figura 1, al esparcir pequeñas limaduras metálicas alrededor de un imán, Cabeo observó con claridad lo que Gilbert había denominado "Efluvia" (Park, 1895). Según Gilbert, los imanes emitían desde su núcleo una esfera de influencia invisible responsable de la atracción del hierro (Park, 1895). Observó además que sobre su "Terella", esta esfera de acción formaba los meridianos terrestres.

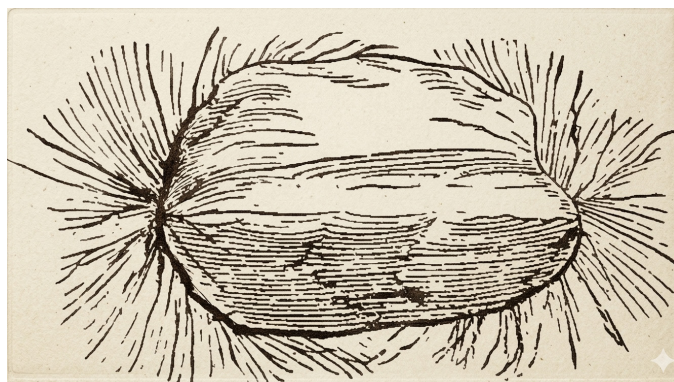


Figura 1: Patrón formado por limaduras de hierro alrededor de una magnetita. Experimentos de este tipo, estudiados y refinados por Niccolò Cabeo, permitían visualizar indirectamente la estructura de la interacción magnética: las limaduras se alinean siguiendo la dirección de las fuerzas entre los polos. Observaciones como esta contribuyeron a refinar la idea de "Efluvia" propuesta previamente por William Gilbert, según la cual los imanes emitían una influencia invisible responsable de la atracción del hierro (Park, 1895)

Sin embargo, el experimento de Cabeo reveló algo aún más importante. Al observar el patrón formado por las limaduras notó que se formaban líneas que emergen de un polo, se curvan hasta ingresar por el otro polo y continúan su trayecto por el interior del imán hasta regresar a su punto de origen (Park, 1895). Este descubrimiento después se for-

malizaría en una de las Ecuaciones de Maxwell, revelando que el campo magnético siempre forma ciclos "cerrados" (Véase Figura 2).

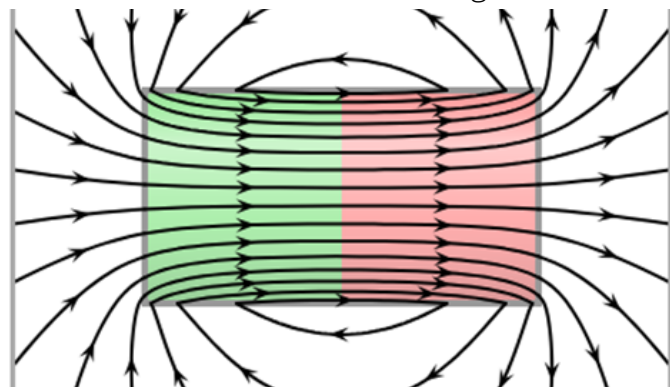


Figura 2: Una representación esquemática del campo magnético producido por un imán con los conocimientos contemporáneos. Se observa una equivalencia con los descubrimientos de Cabeo (Geek3, 2017).

Cabeo descubrió también que los elementos eléctricos presentaban atracción y repulsión (Park, 1895). Este es uno de los primeros indicios de la naturaleza dual de la carga eléctrica.

Curiosamente, una de las contribuciones más interesantes de Cabeo surgió de su desacuerdo con Gilbert. Dado que, en sus experimentos, Cabeo observó que las fuerzas magnéticas disminuyen rápidamente con la distancia, el no pensaba que el magnetismo podría ser el origen de la interacción entre los astros. Esta evidencia sumada a su convicción religiosa llevó a Cabeo a rechazar el modelo heliocéntrico propuesto por Gilbert.

Cualquiera puede comprobar este experimento usando dos imanes. Cuando están cercanos ejercen una fuerza notable entre sí; pero si se separan más de un metro, la interacción se vuelve imperceptible si no nula. Cabeo comprendió que, si el magnetismo decrecía tan rápidamente, era impensable que esta fuerza podría gobernar el movimiento de los astros, que se encontraban a tan grandes distancias.

Otras figuras que consideraron la posibilidad de una atracción magnética entre los astros fueron Johannes Kepler y René Descartes, ambos precursores de la revolución científica. Kepler, hoy célebre por sus leyes del movi-



miento planetario, estaba convencido, gracias a sus observaciones y cálculos, que los planetas no giraban alrededor de la Tierra, sino alrededor del Sol. Pero fue más allá. Tras analizar minuciosamente los datos astronómicos, concluyó que las órbitas no eran circulares, como se había creído durante siglos, sino elípticas, con el Sol ubicado en uno de sus focos (Osler et al., 2025).

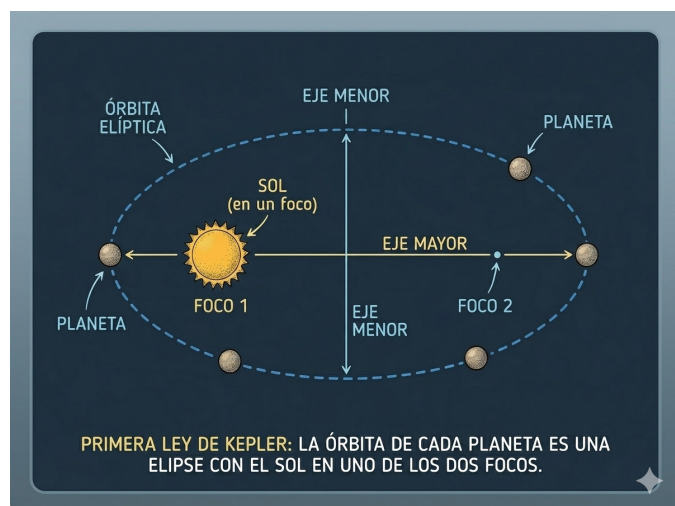


Figura 3: La primera ley de Kepler establece que los planetas se mueven en orbitas elípticas con el Sol en uno de sus focos. Eso implica que hay épocas del año en las que la Tierra está más cerca al Sol y se mueven más rápido y otras en las que está lejos y se mueve más lento. Imagen generada con Gemini AI

Como se observa en la Figura 3, esto implica que existen épocas del año en que los planetas están más cerca del Sol y otras en que se encuentran más lejos.

Para explicar este comportamiento, Kepler propuso que debía existir algún tipo de fuerza emanada del Sol cuya intensidad disminuía con la distancia. Esta idea, aunque imprecisa, representaba un intento temprano de explicar el movimiento de los cuerpos celestes mediante causas físicas, en lugar de recurrir únicamente a descripciones filosóficas. En cierto sentido esta propuesta guardaba paralelismo con lo que ocurría con los imanes: cuanto más cerca están, mayor es la fuerza de atracción (Park, 1895).

A diferencia de otros pensadores de su época, Kepler no sufrió persecución directa por parte de la Inquisición, en parte porque

vivía en territorios protestantes fuera de la jurisdicción de la Iglesia católica romana. Sin embargo, el avance de ideas que contradecían la física aristotélica generaba una creciente tensión intelectual en Europa, especialmente en contextos donde la autoridad religiosa mantenía una fuerte influencia sobre el conocimiento académico (Park, 1895).

Por su parte, René Descartes conoció los trabajos de Gilbert. Y aunque estaba de acuerdo, era consciente del delicado equilibrio entre innovación filosófica y ortodoxia religiosa. En una de sus obras más célebres y pulidas, Principia, que decidió no publicar al enterarse de la persecución de la inquisición, escribió con cautela:

“Si la opinión del movimiento de la Tierra es falsa. [...] Todos los fundamentos de mi filosofía también son falsos, porque están claramente demostrados por ellos [...] sin embargo, por nada del mundo los defendería contra la Iglesia” (Park, 1895)

En conjunto, este era el clima en el que se gestaba la Revolución Científica. Experimentos sobre el magnetismo, nuevas interpretaciones del movimiento de los planetas y el intento de construir explicaciones físicas coherentes del cosmos reflejaban un cambio profundo en la forma de investigar la naturaleza. Pensadores como Cabeo, Kepler y Descartes contribuyeron a abrir el camino hacia una ciencia basada cada vez más en la observación sistemática, el razonamiento matemático y la experimentación. Se trataba de una transformación profunda en la forma de comprender el mundo.

2.2. Galileo y el Método científico

Los avances en la observación y en la experimentación permitieron que muchas mentes curiosas comenzaran a generar nuevo conocimiento, que en numerosos casos entraba en conflicto con la doctrina aristotélica dominante (Shapin, 2022). Un ejemplo de este tipo de pensamiento es el modelo aristotélico del universo, que situaba a la Tierra en el



centro del cosmos y a los astros moviéndose en esferas perfectas a su alrededor, tal como se ilustra en la Figura 4.

Schema huius præmissæ diuisionis Sphærarum.

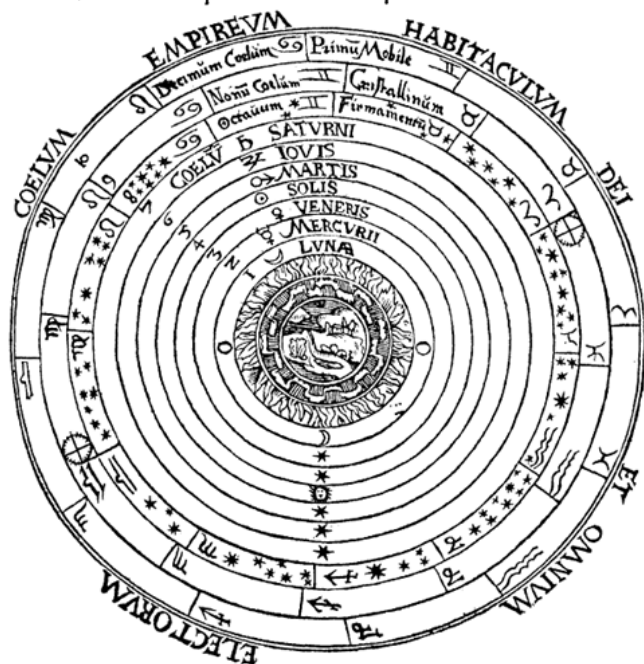


Figura 4: Representación del Universo de acuerdo con modelo aristotélico elaborado por Pedro Apiano a mediados del siglo XVI. En este esquema los planetas y los astros están ordenados en esferas que rodean la tierra. En la esfera más exterior la leyenda reza en latín: “El cielo es la morada de Dios y de todos los elegidos” denotando la alta carga religiosa del modelo universal aristotélico que comenzaba a ser cuestionado por los nuevos enfoques experimentales (Mantello & Rigg, 1996).

La física de Aristóteles que había sido aceptada durante siglos como una descripción casi definitiva estaba en jaque. El propio Galileo, un aristotélico, se sorprendió al comprobar que muchos principios aceptados no resistían la prueba de la experimentación (Park, 1895).

Cuando la Iglesia prohibió oficialmente la enseñanza del heliocentrismo, Galileo no actuó con la prudencia estratégica de René Descartes. En lugar de guardar silencio, viajó a Roma para defender la idea de que la Biblia no pretendía ser un tratado científico (Hawking, 2020). Esta postura solo logró que Galileo tuviera que retractarse públicamente:

“Habiendo sostenido y creído que el Sol es el centro del universo e inmóvil, y que la Tierra no es el centro del mismo y que se mueve... abjuro con sinceridad de corazón y fe sincera,

maldigo y detesto los mencionados errores y herejías y, en general, todas y cada una de las sectas contrarias a la Santa Iglesia Católica” (Park, 1895).

Los conflictos entre Galileo y la Iglesia son, sin duda, un episodio fascinante de la historia. Pero más allá de la polémica, lo verdaderamente revolucionario era la postura filosófica de Galileo.

Durante su arresto domiciliario, lejos de abandonar la investigación, profundizó en el estudio del movimiento. Y aquí es donde encontramos su contribución más trascendental: la consolidación de lo que hoy llamamos método científico (Hawking, 2020).

Galileo propuso que para comprender un fenómeno natural no bastaba con apelar a la autoridad o a la intuición. Era necesario testear las hipótesis planteadas basados en la experimentación.

Un ejemplo clásico es su análisis de la caída de los cuerpos. Según la mecánica aristotélica, los objetos más pesados debían caer más rápido que los más livianos. Intuitivamente, esta idea parecía razonable. Pero la intuición no es suficiente.

Para estudiar este fenómeno, Galileo utilizó un plano inclinado (conocido hoy como plano de Galileo; véase Figura 5) que le permitía ralentizar la caída de los cuerpos y medir con mayor precisión su movimiento. A partir de estos experimentos comprendió que la gravedad actúa de manera equivalente en una caída libre y en un plano inclinado. Mediante sus mediciones, descubrió además que la masa no influía en la rapidez de caída (Büttner, 2019).

Aún más importante descubrió que la distancia recorrida por un cuerpo en caída aumenta de forma cuadrática (Büttner, 2019). Es decir, si en un segundo el cuerpo recorre 1cm; en dos segundos habrá recorrido 4cm; en tres segundos, 9cm; en cuatro, 16cm. La naturaleza obedecía una ley matemática precisa.



Figura 5. El Plano de Galileo es un plano inclinado que permitía medir distancias y tiempo de un cuerpo que se desliza por acción de la gravedad. En la imagen se puede observar que hay campanillas colocadas a distancias que aumentan de forma aritmética. Cuando se deja caer una esfera esta hace sonar las campanillas en intervalos constantes lo que significa que la distancia recorrida aumenta con el tiempo de forma cuadrada (Museo Galileo, 2010). Experimentos como estos permitieron a Galileo determinar leyes físicas consolidando lo que hoy llamamos método científico.

Por primera vez, un fenómeno físico cotidiano era descrito mediante una relación matemática exacta. Este fue el verdadero punto de inflexión. La ciencia ya no consistía únicamente en describir lo que ocurre, sino en formular leyes cuantitativas capaces de predecir lo que ocurrirá.

Esta capacidad predictiva demostró ser extremadamente útil. El descubrimiento de los cuerpos que caen por gravedad, por ejemplo, permitió predecir con precisión el lugar de impacto de un proyectil, lanzado con ángulo desde un cañón.

Desde entonces, modelar los fenómenos mediante herramientas matemáticas se convirtió en el nuevo estándar de la investigación científica (Park, 1895). Esta nueva manera de interrogar a la naturaleza transformó para siempre nuestra forma de entender el mundo.

2.3. La Real Sociedad de Londres (Royal Society)

En 1660 e inspirados por el método de Galileo, un grupo de científicos ingleses fundó

en Londres la **Royal Society**. Su propósito era novedoso: promover el conocimiento basado en la experimentación, la observación sistemática y la discusión pública de resultados. Su lema, *Nullius in verba* ("no aceptar la palabra de nadie") (Royal Society, n.d.), resumía el espíritu de la época: la autoridad de los textos antiguos fue reemplazada por la discusión pública basada en evidencias.

Entre sus figuras más destacadas estuvo Isaac Newton, cuya obra consolidaría definitivamente la unión entre matemáticas y naturaleza iniciada décadas antes (Hawking, 2020; Osler et al., 2025; Shapin, 2022). Con la Royal Society, la ciencia dejó de ser el esfuerzo aislado de pensadores individuales y se convirtió en una empresa colectiva, organizada y pública.

Así, la nueva manera de hacer ciencia no solo transformó las ideas sobre el universo: también creó instituciones dedicadas exclusivamente a descubrirlo. Otras naciones siguieron el ejemplo y fundaron sus propias sociedades científicas (Park, 1895). Así el descubrimiento de conocimiento científico se convirtió en una institución global.

3. CONCLUSIÓN

Los descubrimientos en tema electromagnético no fueron numerosos en el siglo XVII. Sin embargo, es imposible continuar nuestra historia sin antes entender cuáles fueron los métodos con los que se pasó a hacer investigación.

Es factible afirmar que en esta entrega se vivió un cambio de era en la investigación científica. Si recordamos los traspiés que atravesó el conocimiento electromagnético hasta la época, notaremos que todos los fenómenos descritos con anterioridad no volvieron a sucederse.

Finalmente terminaron los días en que el conocimiento se perdía en tiempo y que llegaron hasta nosotros escondidos en viejos poemas. Los inventos dejaron de tener que ser reinventados y los descubrimientos dejaron de tener que ser redescubiertos. El saber ya no



se quedaba en un pergamino que tenía que sobrevivir a odiseas hasta llegar a las manos correctas. Los libros y textos ya no se ocultaban por miedo a repercusiones.

El mundo había cambiado para siempre y el conocimiento científico influyó cada aspecto de la vida diaria del ser humano. Los países que fomentaron la investigación obtuvieron rápidamente un retorno de inversión nunca visto.

Los descubrimientos dejaron de ser eventos excepcionales y se convirtieron en norma. Pronto se llegaría a creer, erróneamente, que la física había sido ya descubierta por completo, y que no quedaba nada por descubrir. Tan solo hace pocas décadas Sabemos que no es así.

Esta entrega termina teniendo toda la certeza que finalmente se tuvo un “[...] entorno donde el descubrimiento y la invención serán sin duda apreciados, estimulados y fomentados” (Park, 1895).

4. REFERENCIAS

- Adams, R. M. (1999). Leibniz: Determinist, Theist, Idealist. Oxford University Press.
- Britannica Editors. (2025). William Gilbert. In Encyclopedia Britannica. <https://www.britannica.com/biography/William-Gilbert>
- Büttner, J. (2019). Swinging and Rolling: Unveiling Galileo's unorthodox path from a challenging problem to a new science. Springer.
- Geek3. (2017, May 1). Comparison of the magnetic B-field and H-field inside and outside of a cylindrical bar magnet. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:VFpt_magnet_B.svg
- Hawking, S. W. (2020). A Brief History of Time From the Big Bang to Black Holes. Bantam.
- Mantello, F. A. C., & Rigg, A. G. (1996). Medieval Latin: An introduction and bibliographical guide. CUA Press.
- Museo Galileo. (2010, February). Piano inclinado (Instrumento educativo, Inv. 1041) [Fotografía]. <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=50075926>
- Osler, M. J., Spencer, J. B., & Brush, S. G. (2025). Scientific Revolution. In Encyclopedia Britannica. Encyclopædia Britannica, Inc. <https://www.britannica.com/science/Scientific-Revolution>
- Park, B. (1895). The intellectual rise in electricity. LONGMANS, GREEN, & CO.

- Royal Society. (n.d.). History of the Royal Society. The Royal Society. Retrieved March 3, 2026, from <https://royalsociety.org/about-us/who-we-are/history/>
- Shapin, S. (2022). The scientific revolution. University of Chicago press.

INFORMACIÓN DE LA REVISTA

Praxis

Revista del Centro de Física-UCE

<https://revistasdivulgacion.uce.edu.ec/index.php/>

e-ISSN : 3103-1323

Periodicidad: Cuatrimestral

Edición: Núm. 9, abril 2026

e-mail: revista.praxis@uce.edu.ec

Sección

Ventana al universo de la Física



De la máquina de vapor a la inteligencia artificial: las revoluciones industriales y la transformación del trabajo

From the Steam Engine to Artificial Intelligence: Industrial Revolutions and the Transformation of Work

 Jorge Chimarro-Alvear *

Universidad Central del Ecuador, Centro de Física. Quito, Ecuador. E-mail: jochimarro@uce.edu.ec

Recibido 02 de marzo de 2026; aceptado 01 de abril de 2026; publicado 06 de abril de 2026

Resumen

La pregunta sobre si la Inteligencia Artificial (IA) nos reemplazará ha pasado de ser ciencia ficción a estar hoy en el centro del debate científico, económico y ético. A lo largo de la historia, cada revolución industrial transformó el trabajo: el vapor desplazó oficios artesanales y consolidó la fábrica; la electrificación y el motor de combustión impulsaron la producción en masa; la digitalización automatizó tareas administrativas y expandió el sector tecnológico. La actual Cuarta Revolución Industrial, basada en IA, extiende la automatización hacia funciones cognitivas complejas, acelerando la reconfiguración laboral. Este artículo desarrolla una revisión histórica entre las revoluciones industriales, identificando qué empleos desaparecieron, cuáles emergieron y cómo se reorganizó el mercado laboral en cada etapa. La evidencia sugiere que la IA no elimina el trabajo humano, sino que redefine sus competencias y su valor productivo.

Palabras clave: Inteligencia Artificial, revolución industrial, automatización, proceso cognitivo, transformación, empleo.

Abstract

The question of whether Artificial Intelligence will replace us has shifted from science fiction to the center of scientific, economic, and ethical debate. Throughout history, each industrial revolution has transformed work: steam power displaced artisanal trades and consolidated the factory system; electrification and the internal combustion engine drove mass production; digitalization automated administrative tasks and expanded the technology sector. The current Fourth Industrial Revolution, based on AI, extends automation into complex cognitive functions, accelerating the reconfiguration of the labor market. This article develops a historical comparison among the industrial revolutions, identifying which jobs disappeared, which emerged, and how the labor market was reorganized at each stage. The evidence suggests that AI does not eliminate human work but rather redefines its skills and productive value.

Keywords: Artificial Intelligence, industrial revolution, automation, cognitive process, transformation, employment.

* Autor de correspondencia: jochimarro@uce.edu.ec



Este artículo está publicado bajo la licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)



1. INTRODUCCIÓN

Desde una perspectiva científica, cada revolución industrial ha estado sustentada en avances fundamentales de la física: la máquina de vapor surgió de la comprensión de la termodinámica; la electrificación y el motor de combustión se apoyaron en el desarrollo del electromagnetismo y la transferencia de energía; la revolución digital se fundamenta en la física del estado sólido y la electrónica de semiconductores. De igual manera, la actual revolución basada en IA se sustenta en la capacidad computacional desarrollada a partir de estos principios físicos. Comprender estas bases permite interpretar las revoluciones tecnológicas no solo como cambios económicos o sociales, sino como etapas de aplicación del conocimiento científico al sistema productivo.

No obstante, cada avance tecnológico también ha generado inquietud social. Un ejemplo ocurrió en el siglo XIX con los tejedores luditas (véase Figura 1), un grupo de trabajadores textiles que protestaban contra la introducción de maquinaria industrial porque temían perder su sustento (Griffin, 2025).

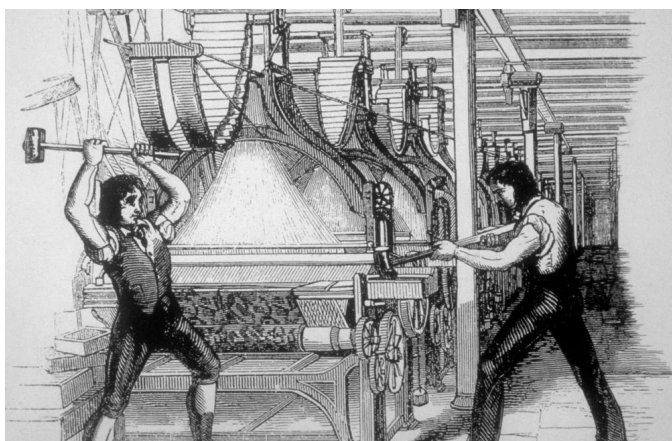


Figura 1. Luditas destruyendo maquinaria textil en Inglaterra durante las primeras décadas del siglo XIX. Estos artesanos se opusieron a la revolución industrial al considerar que las nuevas máquinas amenazaban su sustento, evidenciando las tensiones sociales que pueden surgir frente a los avances tecnológicos (The Luddites, 2020).

Ahora en pleno siglo XXI, la inquietud es similar, pero las máquinas ahora escriben código, crean imágenes y hasta redactan contratos. Los sistemas de IA desarrollados

por organizaciones como OpenAI y modelos de lenguaje de gran escala, como ChatGPT, evidencian que la automatización ya no es únicamente física, sino también cognitiva, pues ha alcanzado actividades que antes se consideraban exclusivamente humanas (Ahmad, 2024).

En este contexto, el presente artículo revisa históricamente las revoluciones industriales para contrastarlas con la evidencia científica actual sobre inteligencia artificial, con el fin de analizar su impacto en la transformación del trabajo y las posibles estrategias de adaptación frente a este nuevo escenario tecnológico.

2. DESARROLLO

2.1. Cuando el vapor movió el mundo: La Primera Revolución Industrial

Mucho antes de que los circuitos y algoritmos dominaran el mundo, una fuerza invisible empezó a sacudir los cimientos de la vida cotidiana: la **máquina de vapor** (Véase figura 2)

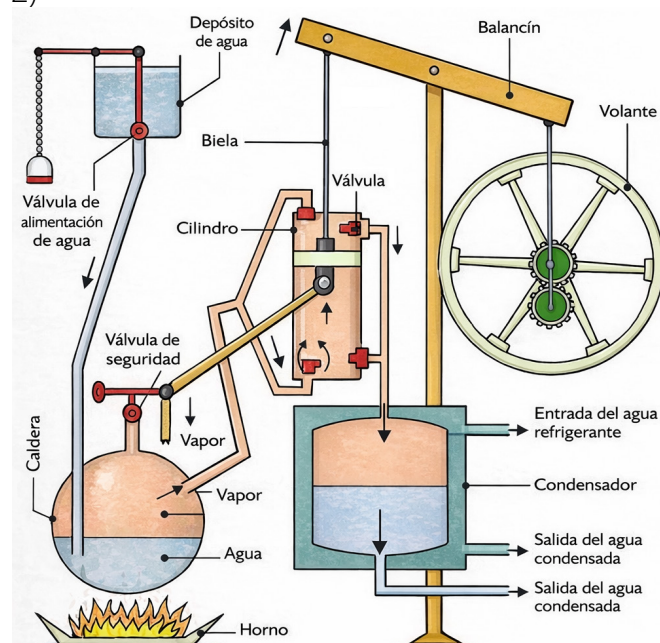


Figura 2. Línea temporal de la evolución del universo, desde el Big Bang, pasando por el fondo cósmico de microondas (CMB), hasta la expansión acelerada impulsada por la energía oscura. El universo se ha expandido durante aproximadamente 13 700 millones de años (Pighi Bel, 2019).

Esta máquina, desarrollada por James Watt



en 1769, no solo puso en movimiento engranajes y calderas, sino que desencadenó una transformación profunda que revolucionó la agricultura y la producción industrial, permitiendo una mayor eficiencia, la mecanización de procesos y una reorganización más compacta de las fábricas.

Lo que durante siglos dependió del esfuerzo humano y animal, comenzó a moverse con un nuevo pulso mecánico, iniciando una revolución que cambiaría el ritmo del trabajo, la producción y, en última instancia, la historia misma.

Datos históricos muestran que, en Inglaterra, entre 1760 y 1830, la productividad textil se multiplicó por más de 10 (Allen, 2009). El empleo industrial no colapsó; migró, se eliminaron algunas tareas manuales como las de los artesanos textiles y molineros, pero simultáneamente emergieron nuevas ocupaciones:

- Operarios de maquinaria
- Técnicos en mantenimiento de motores
- Supervisores de fábrica
- Trabajadores ferroviarios
- Especialistas en transporte y logística
- Comerciantes y administradores industriales

La máquina de vapor no reemplazó al ser humano, cambió su rol.

2.2. Electricidad, motores y producción en masa: La Segunda Revolución Industrial

Si la máquina de vapor liberó a la industria del músculo humano, la electricidad y el motor de combustión liberaron a la producción de sus límites físicos y temporales; el trabajo dejó de depender del día, del clima o de la proximidad al carbón; la energía se volvió flexible, distribuible y escalable.

Personajes como Thomas Edison (Figura 3) y Nikola Tesla (Figura 4) fueron muy relevantes para este cambio. Por un lado, Edison impulsó sistemas comerciales de generación eléctrica en corriente continua (DC); centrándose en la

iluminación confiable y segura. Edison creó la primera bombilla incandescente comercial; un dispositivo práctico, duradero y de uso masivo que permitió la iluminación en calles, hogares y fábricas (Josephson, 2026).

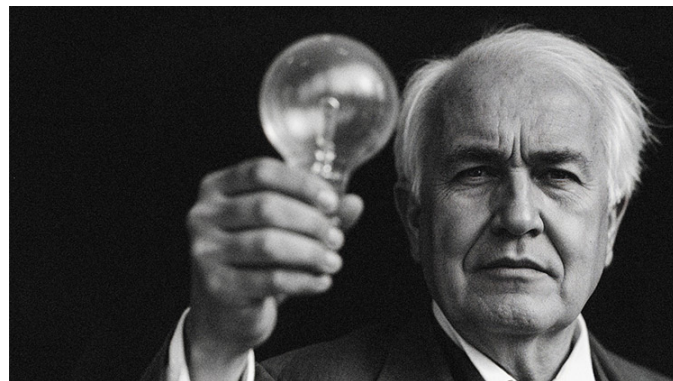


Figura 3. Thomas Edison y su bombilla incandescente (finales del siglo XIX). Este dispositivo produce luz mediante un filamento metálico atravesado por corriente eléctrica. Su introducción impulsó los sistemas de iluminación eléctrica urbana y doméstica durante la Segunda Revolución Industrial (CaixaBank, 2025).

Por otro lado, Tesla se centró en el desarrollo de sistemas de corriente alterna (AC), siendo punto clave para la Segunda Revolución Industrial, ya que permitió el desarrollo de motores de inducción. Estos motores eran duraderos, de menor mantenimiento y confiables. Con esto Tesla proporcionó la tecnología que permitió que la electricidad fuera útil, accesible y eficiente para la industria (Whitaker Hunt, 2026).

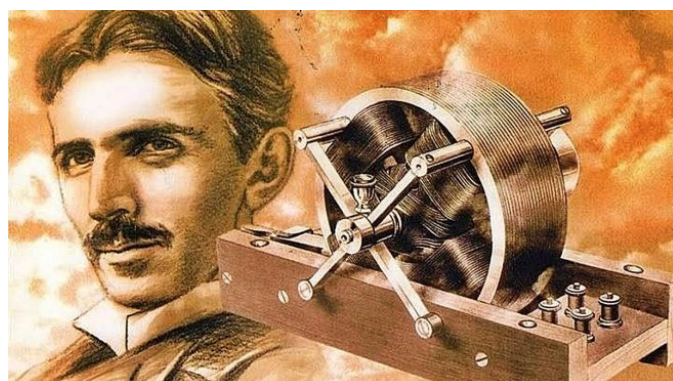


Figura 4. Motor de inducción basado en corriente alterna desarrollado por Nikola Tesla a finales del siglo XIX. El dispositivo alimenta bobinas con corriente alterna produciendo torque mecánico (cladera, s. f.).

La rivalidad entre Edison y Tesla no fue solo una disputa técnica, fue la arquitectura que moldeó el mundo moderno.

En esta arquitectura el motor eléctrico de inducción reorganizó fábricas completas, las



máquinas redujeron su tamaño y ya no estaban alineadas a un eje central movido por vapor; podían distribuirse estratégicamente, esto en vez de ser un problema, elevó eficiencia y redujo costos.

Estos motores, más adelante, hicieron posible la producción en masa, alcanzando su punto de inflexión con Henry Ford. En 1913, el tiempo de ensamblaje de uno de sus vehículos más influyentes (Ford Modelo T - Figura 5) pasó de más de 12 horas a cerca de 90 minutos, provocando que el automóvil deje de ser lujo y se convierta en producto masivo (Ford Motor Company, s. f.).



Figura 5. Henry Ford junto al Ford Model T, uno de los primeros vehículos fabricados en serie, lo que redujo costos y facilitó el acceso al automóvil. Este hito de la Segunda Revolución Industrial impulsó industrias como el acero, el petróleo y la infraestructura vial (DrJohnWright, 2018).

Décadas después del auge de la producción en masa, comenzaron a evidenciarse problemas de eficiencia, especialmente por las pérdidas y desperdicios generados en los procesos industriales, fue entonces cuando Taiichi Ohno, Sakichi Toyoda y Kiichiro Toyoda propusieron el modelo de producción Toyota, un sistema orientado a eliminar todo tipo de desperdicios y optimizar los flujos de trabajo mediante la filosofía just-in-time.

Con este modelo, la eficiencia dejó de depender únicamente de la velocidad de producción y pasó a fundamentarse en la inteligencia organizacional, la eliminación sistemática de desperdicios y la capacidad de adaptar

continuamente los procesos para generar valor utilizando la menor cantidad posible de recursos. Este enfoque, conocido como Toyota Production System (Figura 6), transformó la gestión industrial moderna y se convirtió en uno de los pilares de la manufactura eficiente en el siglo XX (Ohno, 2019).



Figura 6. Taiichi Ohno, principal creador del Sistema de Producción de Toyota (TPS). Su trabajo se enmarca en la evolución de la industria del siglo XX, donde introdujo enfoques orientados a la optimización de los procesos productivos mediante la reducción de desperdicios y la mejora continua (Gauzak, 2013).

Entre 1870 y 1910, el empleo manufacturero en Estados Unidos creció significativamente (Census, 1975), aunque desaparecieron oficios artesanales tradicionales, surgieron:

- Técnicos eléctricos
- Ingenieros mecánicos
- Supervisores de línea
- Especialistas en logística
- Trabajadores urbanos industriales

La producción en masa redujo precios, amplió mercados y elevó el consumo. Se automatizaron tareas repetitivas, pero, una vez más, se expandieron sectores enteros: transporte, comercio minorista y servicios financieros (Autor, 2015).

2.3. Cuando el mundo se volvió digital: Tercera Revolución

Si el vapor movió fábricas y el motor movió ciudades, la tercera revolución industrial movió

¹Un megapársec (Mpc) es una unidad astronómica de longitud que equivale a 3,26 millones de años luz, o, 3.086×10^{19} Km.



información, el protagonista ya no fue la energía térmica, sino el microprocesador.

A partir de los años 70, la digitalización transformó procesos administrativos, financieros y productivos. La invención del microchip (Figura 7) permitió reducir tamaño y costo computacional de manera exponencial (Kaliski, 2025).

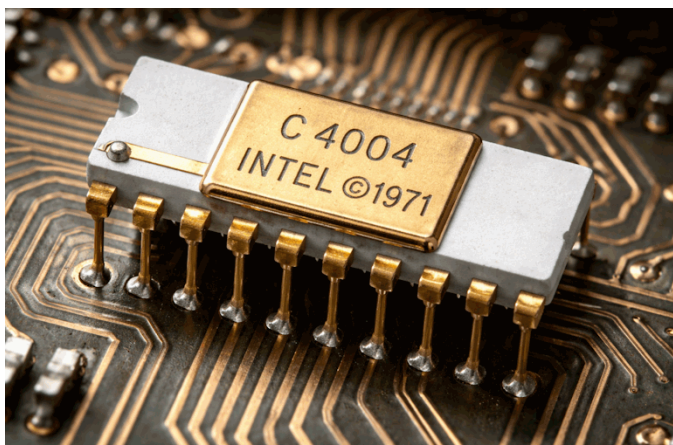


Figura 7. Intel 4004, desarrollado en 1971 por Intel. Integró por primera vez una CPU en un microchip, permitiendo la miniaturización y reducción de costos en sistemas electrónicos. Este avance sentó las bases de la computación moderna y la Tercera Revolución Industrial (Faggin et al., s. f.).

Posteriormente, la expansión de internet en los años 90 convirtió la información en infraestructura económica global (U.S. National Science Foundation, s. f.). Aunado con la comunicación inalámbrica desarrollada en los años 2000, se añadió una capa estratégica, la telefonía móvil, Wi-Fi y redes satelitales que eliminaron barreras geográficas. Posteriormente, emergieron plataformas digitales y redes sociales que redefinieron publicidad, comunicación política y modelos de negocio (Pahlavan & Krishnamurthy, 2021).

Según Harris (2020), entre 1990 y 2010, el empleo manufacturero en Estados Unidos cayó aproximadamente un 30%; parte se debió a la automatización y parte a la globalización. Sin embargo, el desempleo estructural no colapsó permanentemente. Tras el ajuste de la década del 80 y la crisis de 2008, las tasas de desempleo retornaron a niveles históricos promedio (Ansell, 2023).

Mientras se reducían operarios industriales

rutinarios, crecían sectores como:

- Desarrollo de software
- Ingeniería informática
- Telecomunicaciones
- Análisis de datos
- Servicios financieros digitales
- Marketing digital
- Gestión de plataformas tecnológicas

Brynjolfsson & McAfee (2014) describieron este periodo como una “carrera entre educación y tecnología”: los trabajadores con mayor formación digital capturaron la mayor parte del crecimiento salarial, mientras los empleos rutinarios intermedios se comprimieron.

2.4. Inteligencia Artificial y automatización cognitiva: Cuarta Revolución

Si la tercera revolución industrial conectó al mundo mediante la electrónica y la informática, la cuarta comenzó cuando las máquinas dejaron de limitarse a procesar información y empezaron a aprender de ella. La pregunta sobre si una máquina puede pensar no surgió en la industria tecnológica contemporánea, sino décadas antes.

El desarrollo de la **inteligencia artificial** tiene sus raíces en los trabajos de Alan Turing (en la Figura 8), matemático, lógico y criptógrafo británico, quien participó en desarrollos tecnológicos clave durante la Segunda Guerra Mundial.

En este contexto, Turing contribuyó al diseño de máquinas como “La Bombe”, un dispositivo electromecánico utilizado para descifrar mensajes secretos de la Alemania nazi. La “Bombe” reducía drásticamente el tiempo necesario para revelar estos códigos, evidenciando el potencial de las máquinas para resolver problemas complejos.

Paralelamente, en 1950, Turing publicó el artículo *Computing Machinery and Intelligence*, donde propuso el experimento conceptual conocido como **Test de Turing**: una prueba que evalúa si una máquina puede mantener



una conversación indistinguible de la de un humano. Este planteamiento permitió establecer las bases conceptuales del campo de la IA, anticipando el desarrollo de sistemas capaces de procesar información, aprender de datos y ejecutar tareas cognitivas, pilares fundamentales de la actual Cuarta Revolución Industrial (Turing, 2009).



Figura 8. Alan Turing junto a su máquina "La Bombe", un dispositivo electromecánico utilizado para descifrar comunicaciones secretas de la Alemania nazi durante la Segunda Guerra Mundial. Este avance evidenció el potencial de las máquinas para resolver problemas complejos de la época (Sánchez, 2023).

Sin embargo, el término Inteligencia Artificial no nació con los modelos generativos actuales, su origen formal se remonta a 1956, cuando John McCarthy (en la Figura 9) profesor de la Universidad de Stanford y uno de los pioneros de la informática moderna, acuñó el término **Artificial Intelligence** durante la Conferencia de Dartmouth, celebrada en Hanover, en Estados Unidos (Britannica Editors, 2026).

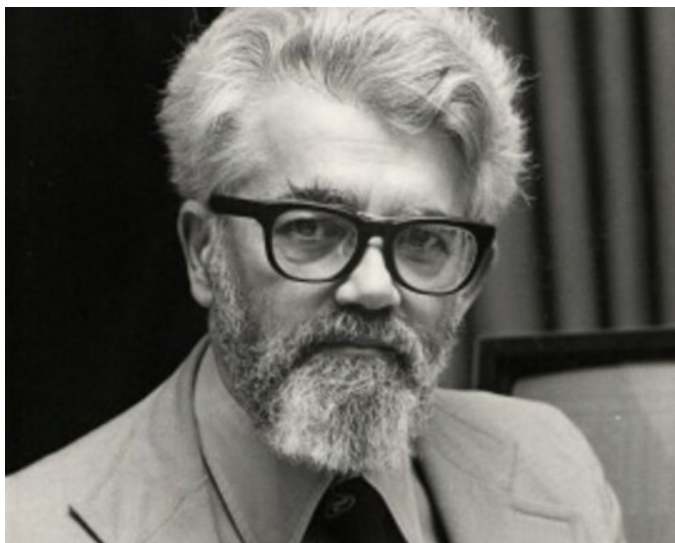


Figura 9. John McCarthy (1927–2011), uno de los padres de la inteligencia artificial, sentó las bases de este campo en 1956. Sus aportes impulsaron el desarrollo del aprendizaje automático y la automatización inteligente, pilares de la Cuarta Revolución Industrial (Standford, s. f.).

La propuesta presentada en la Conferencia de Dartmouth fue ambiciosa: explorar la posibilidad de construir máquinas capaces de simular procesos de razonamiento humano. Además de introducir el nombre de la disciplina, McCarthy realizó contribuciones fundamentales al desarrollo de la IA, entre ellas la creación del lenguaje de programación LISP, ampliamente utilizado durante décadas en investigación en inteligencia artificial (McCarthy, 1960), así como el desarrollo de conceptos clave como el razonamiento simbólico y los sistemas basados en conocimiento (Russell & Norvig, 2021). Estas ideas sentaron las bases para el estudio formal de la inteligencia artificial como campo científico dentro de la informática. Durante décadas, la IA avanzó bajo enfoques simbólicos limitados por la capacidad computacional. El gran salto llegó con el aprendizaje profundo, formalizado en redes neuronales modernas por LeCun, Bengio y Hinton, permitiendo que los sistemas aprendieran patrones complejos a partir de grandes volúmenes de datos (LeCun et al., 2015).

Posteriormente, la expansión de tecnologías como la computación en la nube, el Big Data y el Internet de las Cosas (IoT) transformó la IA de un experimento académico en una infraestructura económica global.

En 2017, investigadores de Google introdujeron la arquitectura Transformer, un modelo de redes neuronales basado en mecanismos de self-attention que permite analizar simultáneamente grandes secuencias de información e identificar relaciones entre palabras dentro de un texto (Vaswani et al., 2023). Esta innovación revolucionó el procesamiento del lenguaje natural al mejorar significativamente la capacidad de los sistemas para comprender y generar lenguaje humano, dando origen a modelos de gran escala utilizados actualmente en aplicaciones comerciales.

En 2022, OpenAI lanzó ChatGPT, alcanzando millones de usuarios en pocos meses; poco después, Google presentó Gemini, y Microsoft integró Microsoft Copilot en su ecosistema



productivo. Este fenómeno marca la Cuarta Revolución Industrial; la automatización no solo física ni digital, sino cognitiva.

En este contexto y al igual que en las anteriores revoluciones muchas personas están preocupadas por el porvenir; sin embargo, la automatización cognitiva no elimina la necesidad humana, sino que redefine el tipo de competencia requerida.

Bajo este contexto han emergido nuevas profesiones impulsadas por la IA:

- Ingenieros de modelos de lenguaje
- Científicos de datos
- Arquitectos de sistemas IoT
- Especialistas en ética algorítmica
- Ingenieros en automatización avanzada
- Entrenadores de modelos (data annotators)
- Diseñadores de interacción humano-IA

Bajo este escenario, la pregunta ya no es si las máquinas pueden pensar, sino cómo se reorganizará el trabajo humano cuando estas tecnologías sean capaces de realizar de manera eficiente ciertas tareas cognitivas.

3. DISCUSIÓN

El análisis histórico de las revoluciones industriales muestra que el avance tecnológico no elimina el trabajo humano, sino que se transforma. La automatización sustituye tareas específicas, generalmente rutinarias, mientras incrementa la productividad y genera nuevas ocupaciones asociadas al paradigma emergente.

En la Primera Revolución Industrial, la mecanización desplazó el trabajo artesanal hacia sistemas fabriles, redefiniendo la organización del trabajo. Posteriormente, la Segunda Revolución introdujo la electrificación y la producción en masa, consolidando empleos industriales más especializados y estandarizados, pero también marcados por la repetitividad.

Por su lado, la Tercera Revolución

Industrial, impulsada por la informática y la automatización, redujo la dependencia de la fuerza física y dio paso a una economía basada en el conocimiento, donde emergieron perfiles técnicos vinculados a la programación, la electrónica y la gestión de sistemas.

En la actualidad, la Cuarta Revolución Industrial se caracteriza por la integración de inteligencia artificial, sistemas autónomos y análisis de datos. A diferencia de revoluciones anteriores, destaca por la rapidez de transformación, ya que estas tecnologías pueden adoptarse globalmente en pocos años gracias a la infraestructura digital. Esto implica una reconfiguración acelerada de las competencias, donde la adaptabilidad en entornos tecnológicos complejos, el pensamiento crítico y la interacción con tecnologías emergentes se vuelven esenciales.

4. CONCLUSIONES

La Inteligencia Artificial sigue la dinámica histórica de las revoluciones anteriores, pero introduce una diferencia sustancial, su capacidad para intervenir en procesos cognitivos complejos y la velocidad con la que se integra en los sistemas educativos, institucionales y productivos.

Desde una perspectiva científica, esta dinámica no puede entenderse únicamente como un fenómeno tecnológico, sino como el resultado acumulativo del desarrollo del conocimiento en áreas fundamentales como la física y la matemática; los avances en electrónica, semiconductores, procesamiento de señales y modelado computacional. Todos ellos sustentados en principios físicos, han permitido la evolución de sistemas de cómputo cada vez más sofisticados, sobre los cuales se construyen las actuales tecnologías.

En este contexto, la física no solo ha sido el soporte de la infraestructura digital, sino que continúa proyectándose como un eje estratégico para el desarrollo de nuevas arquitecturas de computación, sensores avanzados y sistemas autónomos.



En consecuencia, el debate deja de centrarse en la sustitución del trabajo y se orienta hacia la capacidad de adaptación del ser humano frente a este nuevo paradigma. La respuesta ante el cambio implica fortalecer procesos de reconversión de habilidades, promover el aprendizaje continuo y diseñar marcos institucionales que faciliten una integración efectiva entre personas y tecnologías inteligentes, permitiendo la sostenibilidad y equidad del desarrollo futuro.

5. REFERENCIAS

- Ahmad, A. (2024). Artificial Intelligence in the 21st Century: Opportunities, Risks and Ethical Imperatives. <https://doi.org/10.53555/KUEY.V30I5.3125>
- Allen, R. C. (2009). The British Industrial Revolution in Global Perspective. Cambridge University Press.
- Ansell, R. (2023). Total nonfarm employment recovers in 2022, with some major industry sectors lagging behind. Monthly Labor Review, 1-18.
- Autor, D. H. (2015). Why Are There Still So Many Jobs? The History and Future of Workplace Automation. Journal of Economic Perspectives, 29(3), 3-30. <https://doi.org/10.1257/jep.29.3.3>
- Britannica Editors. (2026, febrero 3). Artificial intelligence—Machine Learning, Robotics, Algorithms | Britannica. <https://www.britannica.com/biography/John-McCarthy>
- Brynjolfsson, E., & McAfee, A. (2014). The Second Machine Age: Work Progress And Prosperity In A Time Of Brilliant Technologies. W. W. Norton & Company.
- CaixaBank. (2025, febrero 3). La bombilla, el pequeño objeto que cambió nuestra forma de ver el mundo. Esfera. <https://www.caixabank.com/es/esfera/content/bombilla-historia-economia>
- Census, U. S. B. of the. (1975). Historical Statistics of the United States, Colonial Times to 1970. Kraus International Publications.
- cladera. (s. f.). Biografías—Nikola Tesla. www.cladera.org. Recuperado 13 de marzo de 2026, de <https://www.cladera.org/biografias/investigador.php>
- Ford Motor Company. (s. f.). Life of Henry Ford | Articles | Ford Motor Company. Henry Ford Biography. Recuperado 25 de febrero de 2026, de <https://corporate.ford.com/corporate/corporate/articles/history/henry-ford-biography/>
- Freire, N. (2023, octubre 17). Thomas Edison, el maestro de la electricidad. National Geographic España. https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/thomas-edison-maestro-electricidad_20845
- Gauzak. (2013, abril 10). Taiichi Ohno & D-H (English Version) | Gauzak.blog. Gauzak. https://www.gauzak.com/taiichi-ohno_en/
- Harris, K. (2020, noviembre 20). Forty years of falling manufacturing employment: Beyond the Numbers : U.S. Bureau of Labor Statistics. Bureau of Labor Statistics. <https://www.bls.gov/opub/btn/volume-9/forty-years-of-falling-manufacturing-employment.htm>
- Josephson, M. (2026, febrero 15). Thomas Edison | Biography, Early Life, Inventions, & Facts | Britannica. <https://www.britannica.com/biography/Thomas-Edison>
- Kaliski, B. (2025). Moore's Law. En Encyclopedia of Cryptography, Security and Privacy (pp. 1578-1579). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-71522-9_420
- LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. Nature, 521(7553), 436-444. <https://doi.org/10.1038/nature14539>
- McCarthy, J. (1960). Recursive functions of symbolic expressions and their computation by machine, Part I. Commun. ACM, 3(4), 184-195. <https://doi.org/10.1145/367177.367199>
- Ohno, T. (2019). Toyota production system: Beyond large-scale production. Productivity press.
- Pahlavan, K., & Krishnamurthy, P. (2021). Evolution and Impact of Wi-Fi Technology and Applications: A Historical Perspective. International Journal of Wireless Information Networks, 28(1), 3-19. <https://doi.org/10.1007/s10776-020-00501-8>
- Russell, S., & Norvig, P. (2021). Artificial Intelligence: A modern approach, 4th US ed. aima: сайт. URL: [https://aima.cs.berkeley.edu/\(дата_обращения:_26.02._2023\)](https://aima.cs.berkeley.edu/(дата_обращения:_26.02._2023))
- Sánchez, C. H. (2023, mayo 11). El hombre que separó a las personas de las máquinas. https://www.ellitoral.com/opinion/inteligencia-artificial-computadoras-ciencia-alan-turing-codigo-enigma_0_5DwOoeQ5IC.html
- Standford. (s. f.). John McCarthy | Stanford University School of Engineering. Recuperado 25 de febrero de 2026, de <https://engineering.stanford.edu/people/john-mccarthy>
- Turing, A. M. (2009). Computing Machinery and Intelligence. En R. Epstein, G. Roberts, & G. Beber (Eds.), Parsing the Turing Test: Philosophical and Methodological Issues in the Quest for the Thinking Computer (pp. 23-65). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6710-5_3
- U.S. National Science Foundation. (s. f.). Birth of the Commercial Internet—NSF Impacts | NSF - U.S. National Science Foundation. Recuperado 25 de febrero de 2026, de <https://www.nsf.gov/impacts/internet>
- Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A. N., Kaiser, L., & Polosukhin, I. (2023). Attention Is All You Need (arXiv:1706.03762). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1706.03762>
- Whitaker Hunt, I. (2026, febrero 5). Nikola Tesla | Biography, Facts, & Inventions | Britannica. <https://www.britannica.com/biography/Nikola-Tesla>

INFORMACIÓN DE LA REVISTA

Praxis

Revista del Centro de Física-UCE

<https://revistasdivulgacion.uce.edu.ec/index.php/>

e-ISSN : 3103-1323

Periodicidad: Cuatrimestral

Edición: Núm. 9, abril 2026

e-mail: revista.praxis@uce.edu.ec



CENTRO DE FÍSICA
Universidad Central del Ecuador



CENTRO DE FÍSICA
Universidad Central del Ecuador

Núm. 9 / Abril 2026 / e-ISSN: 3103-1323



Praxis