

# Producción científica Cuba-Estados Unidos en física nuclear: ¿colaboración real o coincidencia multilateral?

Guillermo Armando Ronda-Pupo\*

*Artículo recibido:*  
30 de abril de 2025  
*Artículo aceptado:*  
9 de octubre de 2025

*Artículo de investigación*

## RESUMEN

Este estudio analiza la producción científica conjunta entre Cuba y Estados Unidos en el área de física nuclear durante el periodo 1999-2024, mediante indicadores bibliométricos libres de escala. Se examinaron 254 artículos indexados en Web of Science y se evaluó su crecimiento, continuidad, especialización temática, impacto relativo y apertura internacional. Los resultados muestran una colaboración sostenida y altamente especializada, con un impacto de citación tres veces superior al promedio global. Sin embargo, indicadores estructurales, como el número promedio de países por artículo (32.39) y la diversidad externa (34.39), revelan que esta producción ocurre dentro de consorcios científicos multinacionales en lugar de a través de una cooperación bilateral directa entre ambos

\* Escuela de Ingeniería, Universidad Católica del Norte, Chile gronda@ucn.cl

países. En este contexto, se concluye que la relación observada responde a una participación compartida en plataformas globales mediada por estructuras colaborativas amplias, más que a una estrategia de colaboración planificada.

**Palabras clave:** Colaboración científica; Física nuclear; Bibliometría; Diplomacia científica

### **Cuba-United States Scientific Output in Nuclear Physics: ¿Genuine Collaboration or Multilateral Coincidence?**

*Guillermo Armando Ronda-Pupo*

#### ABSTRACT

This study analyzes the joint scientific output between Cuba and the United States in nuclear physics during the period 1999-2024, using scale-independent bibliometric indicators. A total of 254 articles indexed in Web of Science were examined, evaluating their growth, continuity, thematic specialization, relative impact, and international openness. The results show sustained and highly specialized collaboration, with a citation impact three times higher than the global average. However, structural indicators, such as the average number of countries per article (32.39) and external diversity (34.39), reveal that this output occurs within multinational scientific consortia, instead of through direct bilateral cooperation between the two countries. In this context, the observed relationship is better understood as shared participation in global platforms mediated by broad collaborative structures, rather than a planned bilateral strategy.

**Keywords:** Scientific Collaboration; Nuclear Physics; Bibliometrics; Science Diplomacy

#### INTRODUCCIÓN

La colaboración científica internacional es una herramienta estratégica para enfrentar desafíos complejos que trascienden fronteras; favorece el intercambio de conocimientos, la optimización de recursos, la formación de capacidades,

y la construcción de agendas comunes en beneficio del bienestar global. En contextos marcados por desigualdades estructurales, también actúa como un mecanismo de diplomacia y equidad (Pastrana y Clegg, 2008). Numerosos estudios han demostrado que la ciencia puede funcionar como un terreno neutral incluso en ausencia de relaciones diplomáticas plenas, como ocurre entre países con sistemas sociopolíticos contrastantes (DeWeerd, 2001).

Las relaciones entre Cuba y Estados Unidos ejemplifican esta paradoja. Aunque han estado históricamente condicionadas por tensiones políticas, restricciones económicas y un embargo prolongado, existen registros de colaboración científica en diversas áreas. Entre ellas destacan la salud pública (Chapman *et al.*, 2018), la bioética (Cañete y Goodman, 2021), la meteorología (Anthes *et al.*, 2015), la nanotecnología (Cao, 2015), la oceanografía (Machlis *et al.*, 2012) y la biotecnología (Carbonell y Hill, 2015). Estas colaboraciones han sido impulsadas por redes académicas, asociaciones científicas –como la Asociación Estadounidense para el Avance de la Ciencia (por sus siglas en inglés, AAAS) y la Academia de Ciencias de Cuba– y programas educativos conjuntos (O’Connell *et al.*, 2018), los cuales evidencian el poder de la ciencia para construir puentes incluso en contextos de aislamiento político (Pastrana, 2015; Ronda-Pupo, 2024).

No obstante, la colaboración en física nuclear, un campo de alta complejidad y valor estratégico, no ha sido estudiada sistemáticamente. Esta disciplina, con aplicaciones en energía, medicina e industria, ha sido clave en el desarrollo científico de ambos países. Cuba, en particular, inició el desarrollo de capacidades en este ámbito desde la década de 1960 con la creación del Centro de Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear (Ceaden), enfocado en metrología, radiofarmacia y tecnologías nucleares (Díaz-García, 2017). Apoyada por la Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas, la isla construyó una infraestructura científica sólida (Castro Díaz-Balart, 1991), y fortaleció la formación de recursos humanos altamente calificados.

Aunque la crisis económica de los años noventa afectó este sector, entidades como el Instituto Nacional de Oncología y Radiobiología (INOR) y el Centro de Isótopos (Centis) mantuvieron líneas de investigación activas en medicina nuclear, producción de radioisótopos y seguridad radiológica (Castro Díaz-Balart, 1991). Además, Cuba ha sostenido relaciones estables con el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) y ha participado en proyectos regionales, donde ha logrado estándares internacionales a pesar de las limitaciones derivadas del embargo (Castro Díaz-Balart, 1990). Esta trayectoria justifica la pertinencia de examinar sus interacciones científicas internacionales en física nuclear y, particularmente, aquellas con Estados Unidos, desde una perspectiva empírica y rigurosa.

Los estudios existentes sobre la colaboración Cuba-Estados Unidos han adoptado enfoques mayormente cualitativos o se han basado en conteos agregados de publicaciones (Ronda-Pupo, 2021), sin explorar la evolución estructural, temática y geográfica de las redes científicas. Esto limita la comprensión real de los patrones de interacción. Sumado a esto, el uso exclusivo de métricas absolutas no permite captar con precisión la dinámica de colaboración entre países con sistemas científicos de tamaño desigual. Por ello, este estudio propone aplicar indicadores bibliométricos libres de escala, que permiten realizar comparaciones ajustadas, minimizando los sesgos estructurales. Estos favorecen la evaluación de aspectos como intensidad, estabilidad, concentración temática, apertura internacional y visibilidad científica de la producción conjunta entre ambos países.

La física nuclear es una rama fundamental de la física que estudia la estructura, las propiedades y las interacciones de los núcleos atómicos. Su campo de acción abarca desde la comprensión de los procesos básicos de la materia y la energía hasta el desarrollo de aplicaciones tecnológicas de alto impacto social, como la generación de energía nuclear, la medicina diagnóstica y terapéutica, la datación de materiales, la protección radiológica y la investigación en astrofísica. En la actualidad, su avance se encuentra estrechamente vinculado con la labor de grandes instalaciones internacionales –como la Organización Europea para la Investigación Nuclear (por sus siglas en francés, CERN), el Laboratorio Nacional de Brookhaven o el GSI Helmholtz Centre for Heavy Ion Research– que concentran esfuerzos colaborativos de carácter global que permiten la realización de experimentos a gran escala y una elevada producción científica multidisciplinaria.

Desde el punto de vista metodológico, la investigación se sustenta en un enfoque bibliométrico, entendido como el conjunto de métodos cuantitativos destinados a analizar la producción, la difusión y el impacto del conocimiento científico a partir de fuentes documentales. La bibliometría constituye una herramienta idónea para examinar patrones de colaboración, productividad y coautoría, así como para identificar redes de investigación y tendencias temáticas. En este estudio, se emplearon indicadores bibliométricos libres de escala, lo que posibilita comparar estructuras de colaboración de distinto tamaño sin sesgos derivados del volumen de publicaciones. Esto garantizó una interpretación más robusta y objetiva de las relaciones científicas entre ambos países.

El objetivo del estudio es analizar la colaboración científica entre Cuba y Estados Unidos en el campo de la física nuclear, mediante el uso de indicadores bibliométricos libres de escala que permitan caracterizar su evolución, estructura y dinámica de cooperación. Las preguntas que guían esta investigación son:

1. ¿Cómo ha evolucionado la producción científica conjunta entre Cuba y Estados Unidos en física nuclear?

2. ¿Esta producción científica conjunta presenta un nivel de especialización temática por encima del promedio global?
3. ¿Qué regularidad temporal caracteriza a esta colaboración?
4. ¿Es una colaboración estrictamente bilateral o es multilateral con participación amplia de terceros países?

La investigación no solo permite analizar esta colaboración científica desde una perspectiva empírica, sino también aportar elementos de análisis relevantes para la formulación de políticas científicas, el fortalecimiento de redes académicas y la promoción de la diplomacia del conocimiento. Al examinar una relación científica marcada por condicionamientos políticos estructurales, el estudio contribuye a ampliar la comprensión de cómo se configuran las colaboraciones científicas internacionales bajo escenarios de conflicto o aislamiento, y destaca el papel de la física nuclear como un espacio de resiliencia e integración global para la ciencia cubana.

## METODOLOGÍA

### *Depuración de datos*

Los datos analizados comprenden 254 artículos indexados en la base de datos Web of Science (WOS), publicados entre 1999 y 2024, en los cuales figura al menos un autor afiliado a una institución cubana y al menos un autor afiliado a una institución de los Estados Unidos de América. La información fue recolectada a partir del Science Citation Index Expanded (SCIE), dada su reconocida cobertura en las ciencias naturales y exactas. La búsqueda avanzada se realizó empleando el identificador de país para Cuba “CU”, se restringió a artículos y revisiones en el campo Document Type, y se filtró por el campo Country/Region para incluir únicamente publicaciones con afiliaciones institucionales simultáneas de Cuba y Estados Unidos. Posteriormente, se aplicó un filtro temático que permitió seleccionar exclusivamente los documentos clasificados en la categoría Nuclear Physics.

Cabe destacar que la selección no se limitó a colaboraciones clasificadas como “big science”; por el contrario, se incluyeron todas las publicaciones con coautoría en ambos países, independientemente del tamaño o la naturaleza de la colaboración. De esta forma, el conjunto abarca tanto grandes proyectos internacionales como experimentos multinacionales en física nuclear o de altas energías, así como colaboraciones bilaterales o de menor escala. De esta forma, la selección ofrece una visión integral y representativa de la cooperación científica Cuba-Estados Unidos en el ámbito de la física nuclear.

Para los indicadores estructurales de colaboración –índice medio de coautoría (IMC) e índice de diversidad externa (IDE)– se consideró el elevado número de autores por artículo, que en promedio fueron 973. Se adoptó un análisis individual por artículo usando VOSviewer (Van Eck y Waltman, 2010), que permitió desagregar metadatos y contar con precisión el número de países participantes, excluyendo a Cuba y Estados Unidos, para identificar terceros países.

Asimismo, el índice de impacto de citación relativo (IICR) fue calculado mediante la plataforma InCites Benchmarking & Analytics de Clarivate, que ofrece métricas normalizadas a partir de los registros de WOS.

### ***Indicadores para la evaluación de la colaboración Cuba-Estados Unidos en física nuclear***

#### *Tasa relativa de crecimiento (TRC)*

La TRC es un indicador bibliométrico independiente de la escala que permite cuantificar el crecimiento proporcional de la producción científica a lo largo del tiempo. Es particularmente útil para evaluar colaboraciones internacionales en términos comparativos. Propicia la identificación de etapas de expansión, estancamiento o declive en la colaboración científica entre ambos países:

$$TRC = \frac{\text{Ln}(N_t) - \text{Ln}(N_{t-1})}{t - t_{-1}}$$

Donde:

$N_t$  = número acumulado de publicaciones en el año  $t$

$N_{t-1}$  = número acumulado en el año anterior

Ln = logaritmo natural

$t-t_{-1}$  = intervalo de tiempo (normalmente 1 año)

#### **Interpretación**

TRC > 0.5: crecimiento rápido (colaboración emergente)

TRC entre 0.1 y 0.5: crecimiento sostenido

TRC < 0.1: crecimiento lento o estancado

TRC < 0: declive en la producción colaborativa

#### *Índice de continuidad (IC)*

El IC mide la regularidad temporal de la colaboración Cuba-Estados Unidos en el área de física nuclear durante un periodo definido. Posibilita evaluar la estabilidad temporal del vínculo científico bilateral:

$$IC = \frac{\text{Número de años con } \geq 1 \text{ publicación conjunta}}{\text{Número total de años analizados}}$$

### Interpretación

IC ≈ 1: colaboración continua y sostenida

IC < 0,5: colaboración intermitente o discontinua

### Índice de especialización temática (IET)

Este indicador evalúa si la colaboración Cuba-Estados Unidos presenta una especialización superior o inferior a la media global en física nuclear. Permite determinar si la colaboración Cuba-Estados Unidos muestra una especialización significativa en física nuclear en relación con la media mundial:

$$IET = \left( \frac{\left( \frac{P_{Cu-EU, FN}}{P_{Cu-US}} \right)}{\left( \frac{P_{FN Global}}{P_{Total global}} \right)} \right)$$

Donde:

$P_{Cu-EU, FN}$  = número de publicaciones conjuntas Cuba-Estados Unidos en física nuclear

$P_{Cu, US}$  = total de publicaciones conjuntas Cuba-Estados Unidos

$P_{FN Global}$  = número global de publicaciones en física nuclear

$P_{Total global}$  = total global de publicaciones

### Interpretación

IET = 1: equivalente a la media global

IET > 1.0: alta especialización temática

IET < 1.0: baja representación temática

### Índice de impacto de citación relativo (IICR)

Mide el impacto científico de la colaboración bilateral comparado con la media global en física nuclear. Determina si las publicaciones fruto de la colaboración están teniendo un impacto relevante en la comunidad científica internacional:

$$IICR = \frac{\text{Promedio de citas por publicación Cuba Estados Unidos en física nuclear}}{\text{Promedio de citas globales en física nuclear}}$$

**Interpretación**

IICR > 1: impacto superior a la media global

IICR = 1: impacto equivalente a la media

IICR < 1: impacto por debajo de la media

*Índice medio de coautoría (IMC)*

Este indicador evalúa si la colaboración es estrictamente bilateral, es decir, solo Cuba-Estados Unidos, o si incluye a otros países:

$$IMC = \frac{\text{Número de países por artículo conjunto}}{\text{Total de artículos conjuntos}}$$

**Interpretación**

IMC ≈ 2: estrictamente bilateral

IMC > 2: colaboración multilateral

*Índice de diversidad externa (IDE)*

Este índice mide el número medio de países externos –distintos de Cuba y Estados Unidos– que participan en cada publicación conjunta. Permite valorar si la colaboración Cuba-Estados Unidos se realiza en un marco cerrado o como parte de redes más amplias:

$$IDE = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Número de países adicionales por artículo conjunto}}{\text{Total de artículos conjuntos}}$$

**Interpretación**

IDE = 0: colaboración estrictamente bilateral

IDE > 0: inclusión de otros países; red internacional más amplia (multilateralidad)

**RESULTADOS**

La *Tabla 1* presenta la evolución anual de la producción científica conjunta entre Cuba y Estados Unidos en el área de física nuclear para el periodo comprendido entre 1999 y 2024. Los resultados sugieren cuatro fases distintivas; la división temporal responde a momentos significativos en la evolución de las relaciones bilaterales entre Cuba y Estados Unidos que influyeron en la dinámica de su cooperación

científica. En la primera, entre 1999 y 2009, la colaboración fue mínima: hubo apenas cuatro publicaciones y varios años consecutivos sin registros. Esta etapa de latencia sugiere la presencia de barreras estructurales, diplomáticas y tecnológicas que dificultaron el establecimiento de redes científicas bilaterales en un campo estratégico y sensible como la física nuclear.

A partir de 2010 se observa una fase de crecimiento sostenido en la colaboración científica que alcanza su consolidación entre 2013 y 2015. Durante este periodo, la producción conjunta experimenta un incremento significativo, pasando de dos artículos en 2010 a trece en 2014. Este aumento puede vincularse con un entorno diplomático más favorable y con el fortalecimiento de los vínculos académicos a través de redes científicas internacionales emergentes. Dicho proceso se enmarca en los efectos acumulativos del programa de acercamiento People to People, impulsado inicialmente por el presidente William Clinton en 1999, y cuyo propósito fue facilitar los intercambios culturales, educativos y científicos entre Cuba y los Estados Unidos.

La tercera fase, comprendida entre 2016 y 2019, evidencia un crecimiento acelerado de la producción científica conjunta, la cual alcanzó un máximo histórico de 56 publicaciones en 2019; esto representa aproximadamente 22% del total acumulado. Este incremento puede atribuirse a la convergencia de diversos proyectos internacionales y a los esfuerzos coordinados entre las instituciones científicas y diplomáticas de ambos países. Durante esta etapa se desarrolló, además, el proceso de acercamiento impulsado por el presidente Barack Obama, que favoreció un clima de cooperación más abierto y propicio para la interacción académica y la participación conjunta en redes de investigación.

Finalmente, el periodo 2020-2024 evidencia una etapa de estabilización en la producción científica conjunta, con cifras anuales que oscilan entre 12 y 27 artículos. A pesar del contexto global adverso derivado de la pandemia y de las restricciones internacionales, la colaboración mantuvo una dinámica sostenida. Este comportamiento pone de manifiesto la resiliencia de los vínculos académicos y científicos entre Cuba y Estados Unidos, incluso frente al retroceso diplomático impulsado durante la administración del presidente Donald Trump, lo que sugiere la existencia de redes consolidadas capaces de sostener la cooperación más allá de las coyunturas políticas.

Año (etapa)	Artículos conjuntos en física nuclear
1999-2009	4
2010-2015	50
2016-2019	104

2020-2024	96
<b>Total</b>	<b>254</b>

*Tabla 1.* Producción científica anual conjunta entre Cuba y Estados Unidos en el área de física nuclear (1999-2024)

Fuente: elaboración del autor (2025), basada en datos obtenidos de la base de datos Web of Science

### *Tasa relativa de crecimiento (TRC)*

La *Tabla 2* presenta la evolución anual de la TRC de la producción científica conjunta entre Cuba y Estados Unidos en el campo de física nuclear, durante el periodo 2011-2024. El resultado revela una evolución oscilante, con alternancia de fases de expansión, contracción y recuperación. Durante la etapa 2011-2014, la TRC mantiene valores positivos, destacando un pico significativo en 2012 (1.099), lo que indica un crecimiento acelerado propio de una colaboración en fase emergente. En 2013 y 2014, el crecimiento continúa, aunque a un ritmo más moderado, lo que sugiere una transición hacia una etapa de consolidación. Sin embargo, esta tendencia se interrumpe en 2015 con un valor negativo (-0.167), dando inicio a un periodo caracterizado por fluctuaciones. La colaboración repunta en 2016 (0.647), pero vuelve a caer en 2017 (-0.742), lo cual evidencia inestabilidad estructural y posiblemente la influencia de factores externos. El año 2018 refleja una nueva fase de recuperación (0.531), que se ve seguida por el mayor valor de toda la serie en 2019 (1.192), coincidiendo con el pico de publicaciones anuales en ese año. Este resultado coincide con lo reportado por Ronda-Pupo (2021) sobre los efectos del acercamiento entre Cuba y Estados Unidos durante el periodo comprendido entre 1999 y 2016, correspondiente a las presidencias de William Clinton y Barack Obama. Dicho proceso diplomático favoreció un incremento significativo de la colaboración entre ambas naciones, especialmente en los campos de la investigación científica y la producción académica conjunta.

A partir de 2020 se observa una fase de contracción sostenida, con tres años consecutivos de valores negativos: -0.847 en 2020, -0.539 en 2021 y -0.154 en 2022; lo cual podría estar vinculado con el impacto global de la pandemia de COVID-19 y las restricciones derivadas de ella. No obstante, en 2023 la colaboración muestra signos de recuperación con un valor alto (0.811), seguido de una nueva caída moderada en 2024 (-0.351). En conjunto, los resultados indican que, si bien la colaboración bilateral ha alcanzado niveles notables, su desarrollo ha estado condicionado por factores coyunturales que afectan su estabilidad y continuidad. Este resultado es coherente con las medidas de la presidencia de Donald Trump que regresaron al aislamiento diplomático entre ambas naciones (Ronda-Pupo, 2023).

Año	TRC
2011	0.405
2012	1.099
2013	0.288
2014	0.080
2015	-0.167
2016	0.647
2017	-0.742
2018	0.531
2019	1.192
2020	-0.847
2021	-0.539
2022	-0.154
2023	0.811
2024	-0.351

Tabla 2. Evolución anual de la tasa relativa de crecimiento en la colaboración científica Cuba-Estados Unidos en física nuclear (2011-2024)  
Fuente: elaboración del autor (2025)

### ***Índice de continuidad (IC)***

En el presente estudio, el IC se calculó sobre un intervalo de 26 años (1999-2024), durante los cuales se registraron publicaciones conjuntas entre Cuba y Estados Unidos en el área de física nuclear en 19 de esos años. El valor obtenido fue de IC = 0.731, resultado de la siguiente relación:

$$IC = \frac{19}{26} = 0.731.$$

Este valor indica un alto grado de regularidad temporal en la producción científica conjunta, lo que sugiere que la colaboración no ha sido meramente esporádica ni dependiente de eventos aislados, sino que ha adquirido una estructura estable y sostenida en el tiempo. En términos bibliométricos, un IC superior a 0.7 se asocia comúnmente con colaboraciones maduras, caracterizadas por vínculos institucionales consolidados, líneas de investigación continuas y redes académicas permanentes.

Además, este indicador refuerza la interpretación de que, aunque existan variaciones interanuales en la intensidad de la colaboración –como lo evidencian las fluctuaciones de la tasa relativa de crecimiento (TRC)–, la persistencia del vínculo a lo largo de más de dos décadas es una manifestación clara de su resiliencia frente a contextos adversos, como las restricciones diplomáticas o los impactos globales como la pandemia. Desde una perspectiva estratégica, un IC elevado aporta evidencia sobre la viabilidad de sostener relaciones científicas bilaterales incluso en ausencia de entornos políticos favorables, lo que otorga valor a esta forma de diplomacia científica independiente.

### *Índice de especialización temática (IET)*

El IET calculado de la colaboración entre Cuba y Estados Unidos en el área de física nuclear es de 36.846, lo que representa un valor excepcionalmente elevado. Este valor implica que la colaboración científica entre Cuba y Estados Unidos está 36 veces más concentrada en física nuclear que el promedio de las publicaciones científicas a nivel mundial. Tal grado de especialización es poco habitual y sugiere una colaboración profundamente focalizada en esta disciplina. Esta orientación puede obedecer a razones estratégicas, tales como la existencia de líneas de investigación priorizadas bilateralmente, capacidades instaladas en infraestructura nuclear, o la continuidad de redes académicas consolidadas en torno a este campo.

$$IET = \left( \frac{\frac{254}{1\ 859}}{\frac{89\ 795}{24\ 215\ 346}} \right) = 36.846$$

Un IET de esta magnitud también puede interpretarse como una señal de dependencia temática dentro de la colaboración binacional, lo que refuerza la importancia de este campo como núcleo estructurante de los vínculos científicos entre ambos países. Desde una perspectiva de política científica, estos hallazgos ofrecen evidencia empírica sobre la especialización disciplinaria de una cooperación bilateral, lo que puede informar la toma de decisiones sobre diversificación o fortalecimiento de áreas emergentes.

### *Índice de impacto de citación relativo (IICR)*

En el presente estudio, se obtuvo un IICR de 3.280 para las publicaciones conjuntas entre Cuba y Estados Unidos en el área de física nuclear. Este valor indica que, en promedio, cada artículo coescrito por autores de ambos países en este

campo recibe más del triple de citas que un artículo típico de física nuclear a nivel mundial.

$$\text{IICR} = \left( \frac{\frac{12\,027}{254}}{\frac{1\,317\,472}{91\,286}} = \frac{47\,350}{14\,432} = 3.280 \right)$$

Este resultado sugiere que la producción científica de esta colaboración no solo es especializada, sino también altamente influyente en términos de reconocimiento internacional. El IICR superior a 1 indica un rendimiento por encima de la media; por tanto, un valor de 3.280 posiciona a esta colaboración como un foco de excelencia dentro del campo. Desde la perspectiva de la diplomacia científica y la cooperación internacional, este hallazgo respalda el valor estratégico de mantener y fortalecer los vínculos binacionales, ya que demuestra que los productos científicos resultantes, además de numerosos y especializados, también son altamente relevantes y visibles dentro de la comunidad académica global.

### *Índice medio de coautoría (IMC)*

En el presente estudio, se registraron 8 228 coautorías nacionales distribuidas en 254 artículos surgidos de la colaboración entre Cuba y Estados Unidos en el área de física nuclear, lo que arroja un valor de  $\text{IMC} = 32.394$ :

$$\text{IMC} = \frac{8\,228}{254} = 32.394$$

Este resultado indica que, en promedio, cada artículo cuenta con la participación de más de 32 países diferentes, excluyendo a Cuba y Estados Unidos. Este elevado nivel de colaboración internacional revela que la producción científica bilateral se integra dentro de grandes consorcios globales de investigación, característicos de la física nuclear experimental, en particular en subcampos como la física de partículas, la astrofísica nuclear y la tecnología de aceleradores.

Un IMC de esta magnitud pone de relieve que los artículos en los que participan Cuba y Estados Unidos en este campo no son binacionales en sentido estricto, sino que se producen dentro de redes de colaboración extensamente multinacionales. Esta configuración puede estar asociada a proyectos vinculados a instalaciones científicas de gran escala –como los de la Organización Europea para la Investigación Nuclear (CERN) u otros laboratorios globales– donde las publicaciones reflejan esfuerzos colectivos coordinados por decenas de países.

Desde una perspectiva bibliométrica, un IMC elevado es un indicador de apertura internacional, conectividad académica y participación en comunidades científicas globalizadas.

### *Índice de diversidad externa (IDE)*

En este estudio, se identificaron 8736 participaciones de países terceros en un total de 254 artículos cofirmados por autores afiliados a instituciones de Cuba y Estados Unidos en el área de física nuclear, lo que arroja un valor de  $IDE = 34.394$ :

$$IDE = \frac{8736}{254} = 34.394$$

Este resultado indica que, en promedio, más de 34 países externos participan en cada artículo conjunto entre Cuba y Estados Unidos, lo cual refleja un elevado grado de apertura y multilateralismo en esta producción científica. Un IDE elevado como este no es común en la mayoría de las áreas científicas, pero es característico de campos como la física nuclear y la física de altas energías, donde los artículos suelen derivarse de megaexperimentos internacionales realizados en instalaciones como el CERN –por ejemplo, ALICE (A Large Ion Collider Experiment) o ATLAS (A Toroidal LHC Apparatus)– o en redes colaborativas altamente organizadas.

Desde el punto de vista analítico, este nivel de diversidad externa plantea implicaciones importantes. Por un lado, sugiere que la producción científica en cuestión no responde a una lógica puramente bilateral, sino que se genera en contextos multinacionales donde los autores cubanos y estadounidenses participan como parte de consorcios científicos globales. Por otro lado, un IDE elevado también puede asociarse a una mayor visibilidad internacional, circulación de conocimientos y fortalecimiento de capacidades científicas, dado que las redes de colaboración amplias suelen asociarse con un mayor impacto bibliométrico y acceso a infraestructura avanzada.

Además, este indicador complementa de manera coherente los resultados del índice medio de coautoría (IMC) y del índice de impacto de citación relativo (IICR), configurando un perfil colaborativo altamente internacionalizado, en el que la presencia cubana se articula con múltiples actores científicos más allá del socio estadounidense.

## DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos permiten caracterizar con profundidad la dinámica de la producción científica conjunta entre Cuba y Estados Unidos en el área de física nuclear durante el periodo 1999-2024. Desde un enfoque bibliométrico, los indicadores muestran un comportamiento destacado: un volumen acumulado de 254 publicaciones, una alta especialización temática (IET = 36.846), un impacto de citación relativo superior al promedio global (IICR = 3.280), y una continuidad temporal sostenida (IC = 0.731). No obstante, al contextualizar estos hallazgos en relación con la configuración estructural de la coautoría y el entorno político bilateral, se hace necesario revisar críticamente la categoría ‘colaboración’.

En este sentido, los elevados valores del índice medio de coautoría (IMC = 32.39) y del índice de diversidad externa (IDE = 34.39) indican que cada artículo cuenta, en promedio, con la participación de más de 30 países adicionales, además de Cuba y Estados Unidos. Esta cifra sitúa a estas publicaciones dentro de un régimen de autoría multinacional intensa, característico de campos como la física de altas energías, donde los artículos son resultado de consorcios científicos de gran escala —como los experimentos ALICE y ATLAS del CERN— que agrupan a decenas o incluso cientos de instituciones y naciones.

Bajo esta lógica, se plantea una cuestión fundamental: ¿Puede hablarse de una colaboración científica bilateral entre Cuba y Estados Unidos cuando ambos países participan dentro de estructuras tan amplias, con cientos o miles de autores y decenas de países? La evidencia sugiere que, más que una colaboración directa y planificada, lo que se observa es una participación compartida en plataformas científicas multilaterales. Es decir, científicos cubanos y estadounidenses aparecen como coautores en el mismo artículo, pero no necesariamente como resultado de vínculos de cooperación establecidos entre sus instituciones. En muchos casos, el vínculo es indirecto, mediado por pertenencia común a un consorcio global, y sin que exista una interacción directa entre los equipos nacionales.

Esta distinción no es trivial. El concepto de colaboración científica bilateral implica, al menos teóricamente, una relación entre pares institucionales o nacionales basada en la planificación conjunta, el intercambio activo de recursos y una definición compartida de objetivos. Por el contrario, la participación compartida en proyectos multinacionales refleja la inserción en una arquitectura de cooperación global, donde la presencia simultánea de dos países no necesariamente implica un vínculo específico entre ellos. En el caso de Cuba y Estados Unidos, esta aclaración cobra especial relevancia dada la complejidad de sus relaciones diplomáticas, marcadas históricamente por restricciones económicas, tecnológicas y políticas, que limitan la posibilidad de establecer alianzas científicas convencionales (Castro Díaz-Balart, 1991).

Sin embargo, este fenómeno no debe interpretarse como una limitación. Por el contrario, el hecho de que Cuba logre sostener su presencia científica en física nuclear en condiciones de aislamiento relativo y aun así alcanzar un alto impacto bibliométrico es evidencia de una resiliencia institucional destacable, lo cual refuerza las conclusiones de autores como Castro Díaz-Balart (1990; 1991). La participación de Cuba en estos consorcios multinacionales, incluso sin una cooperación formal con Estados Unidos, representa una forma eficaz de diplomacia científica indirecta, en la que el conocimiento circula y se codifica al margen de las limitaciones geopolíticas tradicionales.

En síntesis, aunque desde la métrica de la coautoría puede afirmarse que existe una importante producción conjunta entre Cuba y Estados Unidos en el campo de la física nuclear, los indicadores estructurales de colaboración revelan que no se trata de una colaboración bilateral en sentido convencional, sino de una participación simultánea y multilateral dentro de redes globales. Esta diferencia conceptual es clave para interpretar los datos con precisión y para formular políticas más ajustadas a las realidades colaborativas en contextos de alta restricción geopolítica.

## CONCLUSIONES

El objetivo del estudio fue analizar la colaboración científica entre Cuba y Estados Unidos en el campo de la física nuclear, mediante el uso de indicadores bibliométricos libres de escala que permitieran caracterizar su evolución, estructura y dinámica de cooperación, a partir del análisis de 254 publicaciones indexadas en WOS entre 1999 y 2024. Los resultados permiten ofrecer varias conclusiones específicas:

1. Evolución y continuidad: la producción científica conjunta muestra un crecimiento desigual pero significativo a partir de 2010, con picos notables entre 2016 y 2019. El índice de continuidad ( $IC = 0.731$ ) refleja una presencia sostenida en el tiempo, especialmente durante la última década, pese a las restricciones geopolíticas entre ambos países.
2. Especialización e impacto: el índice de especialización temática ( $IET = 36.846$ ) evidencia una concentración intensa en el área de física nuclear, muy por encima de los patrones globales. A ello se suma un índice de impacto de citación relativo ( $IICR = 3.280$ ), que indica un rendimiento de citación tres veces superior al promedio mundial y confirma la relevancia científica de esta línea de investigación conjunta.
3. Multilateralismo versus bilateralismo: los indicadores estructurales ( $IMC = 32.39$  e  $IDE = 34.39$ ) revelan que, en promedio, cada artículo

incluye a más de 30 países externos, lo que diluye la bilateralidad directa de la colaboración. Este patrón sugiere que, más que una cooperación planificada entre instituciones cubanas y estadounidenses, lo que existe es una participación compartida dentro de consorcios multinacionales, típica de la física de altas energías.

4. Limitaciones y resiliencia: a pesar del embargo tecnológico y las restricciones diplomáticas históricas, las instituciones científicas cubanas han logrado mantener una presencia destacada en un campo complejo como la física nuclear. Esta participación, en gran medida facilitada por mecanismos multilaterales como el OIEA o el CERN, es una manifestación de resiliencia científica y diplomacia del conocimiento indirecta.

### ***Recomendaciones para la política científica***

Ante las limitaciones bilaterales formales, se recomienda fortalecer los mecanismos multilaterales como vía para sostener la colaboración científica entre Cuba y Estados Unidos. La política científica cubana podría enfocarse en áreas estratégicas –como la metrología nuclear o la seguridad radiológica– donde la cooperación resulte viable mediante terceros países o agencias internacionales para evitar el aislamiento tecnológico. Asimismo, se sugiere incorporar explícitamente la diplomacia científica en la estrategia exterior cubana para promover su participación activa en foros científicos multilaterales como instrumento de integración global y fomento del desarrollo sostenible.

### ***Futuras líneas de investigación***

Estas podrían incluir estudios cualitativos, mediante entrevistas y análisis documental, para comprender cómo se configuran las relaciones científico-técnicas dentro de consorcios multinacionales que incluyen a Cuba y Estados Unidos, y así evaluar el grado real de interacción entre los actores. También sería pertinente ampliar el análisis a otras disciplinas con presencia de coautoría –como la salud pública o la biotecnología– para determinar si se repite el patrón de participación indirecta o si existen colaboraciones bilaterales explícitas. Finalmente, se recomienda evaluar el impacto de estas redes en la formación de capacidades, analizando su influencia sobre el desarrollo de recursos humanos, infraestructura tecnológica y transferencia de conocimiento en instituciones científicas cubanas.

## REFERENCIAS

- Anthes, Richard, Alan Robock, Juan Carlos Antuña-Marrero, Oswaldo García, John J. Braun y René Estevan Arredondo. 2015. "Cooperation on GPS Meteorology Between the United States and Cuba". *Bulletin of the American Meteorological Society* 96 (7): 1079-88.  
<https://doi.org/10.1175/bams-d-14-00171.1>
- Cañete, Roberto, y Kenneth W. Goodman. 2021. "Cuba-US Collaboration: The Pandemic Imperative". *Medicc Review* 23 (1): 89.  
<https://doi.org/10.37757/mr2021.V23.N1.3>
- Cao, Roberto 2015. "Cuba-USA Collaboration Can Go Nano". *Abstracts of Papers of the American Chemical Society* 250, 8.  
 WOS: 000432475700241.
- Carbonell, Rubén, y Steven Hill. 2015. "Opportunities for US/Cuba Collaborations in Biopharmaceutical Development and Manufacturing". *Abstracts of Papers of the American Chemical Society* 250, 5.  
 WOS: 000432475700238.
- Castro Díaz-Balart, Fidel. 1990. "La energía nuclear en Cuba: factor imprescindible para el desarrollo". *Boletín del OIEA* (1): 49-52.  
[https://www.iaea.org/sites/default/files/32104794952\\_es.pdf](https://www.iaea.org/sites/default/files/32104794952_es.pdf)
- Castro Díaz-Balart, Fidel. 1991. *Energía nuclear y desarrollo*. Editorial de Ciencias Sociales.
- Chapman, Helena J., Luisa A. Armas-Pérez, Michael Lauzardo y Edilberto R. González-Ochoa. 2018. "Moving Closer to Tuberculosis Elimination Through Institutional Scientific Collaboration: Opportunities for Cuba and the USA". *Medicc Review* 20 (2): 59-63.  
<https://doi.org/10.37757/MR2018.V20.N2.14>
- DeWeerd, Sarah. 2001. "Embargoing Science: US Policy Toward Cuba and Scientific Collaboration". *Bioscience* 51 (8): 612.  
[https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2001\)051\[0612:Esuptc\]2.0.Co;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2001)051[0612:Esuptc]2.0.Co;2)
- Díaz-García, Angelina. 2017. "El Centro de Estudios Aplicados al Desarrollo Nuclear (CEADEN) en ocasión de su 30 aniversario (1987-2017)". *Anales de la Academia de Ciencias de Cuba* 7 (3): 118-23.  
<https://revistaccuba.sld.cu/index.php/revacc/article/view/358>
- Machlis, Gary, Thomas A. Frankovich, Pedro M. Alcolado, Erik García-Machado, Aida Caridad Hernández-Zanuy, Robert E. Hueter, Nancy Knowlton, Erick Perera y John W. Tunnell Jr. 2012. "US-Cuba Scientific Collaboration: Emerging Issues and Opportunities in Marine and Related Environmental Sciences". *Oceanography* 25 (2): 227-31.  
<https://doi.org/10.5670/oceanog.2012.63>
- O'Connell, Joan, Ana María Gálvez-González, Jean Scandlyn, María Rosa Sala-Adam y Xiomara Martín-Linares. 2018. "A Collaboration to Teach US MPH Students About Cuba's Health Care System". *Medicc Review* 20 (2): 49-53.  
<https://doi.org/10.37757/MR2018.V20.N2.11>
- Pastrana, Sergio Jorge. 2015. "Science in U.S.-Cuba Relations". *Science* 348 (6236): 735.  
<https://doi.org/10.1126/science.aaa9542>
- Pastrana, Sergio Jorge, y Michael T. Clegg. 2008. "U.S.-Cuban Scientific Relations". *Science* 322 (5900): 345.  
<https://doi.org/10.1126/science.1162561>

- Ronda-Pupo, Guillermo Armando. 2021. "Cuba-U.S. Scientific Collaboration: Beyond the Embargo". *PLOS One* 16 (7), e0255106.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0255106>
- Ronda-Pupo, Guillermo Armando. 2023. "Mexico: A Bridge in Cuba-US Scientific Collaboration". *Scientometrics* 128 (4): 2301-15.  
<https://doi.org/10.1007/s11192-023-04668-8>
- Ronda-Pupo, Guillermo Armando. 2024. "The Dynamics of Cuban International Scientific Collaboration: A Scientometric Analysis over a Century". *Scientometrics* 129 (9): 5211-26.  
<https://doi.org/10.1007/s11192-024-05137-6>
- Van Eck, Nees Jan, y Ludo Waltman. 2010. "Software Survey: VOSviewer, a Computer Program for Bibliometric Mapping". *Scientometrics* 84 (2): 523-38.  
<https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3>

*Para citar este texto:*

- Ronda-Pupo, Guillermo Armando. 2025. "Producción científica Cuba-Estados Unidos en física nuclear: ¿colaboración real o coincidencia multilateral?". *Investigación Bibliotecológica: archivonomía, bibliotecología e información* 39 (105): 121-139.  
<https://dx.doi.org/10.22201/iibi.24488321xe.2025.105.59066>