

Artículo original

Astronomía en Colombia: una perspectiva bibliométrica

Astronomy in Colombia: a bibliometric perspective

Sofía Guevara-Montoya¹, Felipe Ortiz-Ferreira², María Paula Silva-Arévalo¹,
Paola A. Niño-Muñoz³, Jaime E. Forero-Romero^{3,4,*}

¹ Departamento de Física, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia

² Escuela de Geología, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia

³ Departamento de Física, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia

⁴ Observatorio Astronómico, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia

Resumen

En Colombia la investigación astronómica está experimentando un crecimiento acelerado. Para comprender mejor su evolución y estado actual, realizamos un estudio bibliométrico utilizando el Astrophysics Data System (ADS) y la Web of Science (WoS). En el ADS encontramos 422 publicaciones arbitradas desde 1980, año de la primera publicación, hasta 2023, año de corte del estudio. De las 25 instituciones colombianas con al menos una publicación, 14 son de origen privado y 11 son estatales. Más de la mitad de ellas se concentran en dos ciudades: Bogotá, con 11 instituciones, seguida por Medellín, con tres. Se destaca el número de contribuciones de cuatro universidades: la Universidad de los Andes, la Universidad Nacional de Colombia, la Universidad Industrial de Santander (UIS) y la Universidad de Antioquia (UdeA), con 104, 78, 68 y 67 publicaciones, respectivamente. Al cruzar la información del ADS y la WoS, encontramos que las áreas con las publicaciones de mayor impacto son tres: altas energías y física fundamental, estrellas y física estelar, y galaxias y cosmología. Según la WoS, Colombia se encuentra en el puesto 52 a nivel global en cantidad de publicaciones arbitradas entre 2019 y 2023, y en quinto lugar en América Latina. Además, encontramos tres publicaciones muy citadas (ubicadas en el 1 % a nivel mundial) pertenecientes al área de cosmología observacional.

Palabras clave: Investigación astronómica; Análisis bibliométrico; Análisis de citas; Instituciones colombianas; *Rankings* globales.

Abstract

In Colombia, astronomical research is experiencing an accelerated growth. To better understand its evolution and current state, we conducted a bibliometric study by consulting the Astrophysics Data System (ADS) and the Web of Science (WoS). In the ADS, we identified 422 peer-reviewed publications from 1980, the year of the first publication, until 2023, the cut-off year of the study. Of the 25 Colombian institutions with at least one publication, 14 are private and 11 are state institutions. More than half of these institutions are concentrated in two cities: Bogotá with 11 institutions, followed by Medellín with three institutions. The number of contributions from four universities stands out: Universidad de los Andes, Universidad Nacional de Colombia, Universidad Industrial de Santander, and Universidad de Antioquia with 104, 78, 68, and 67 publications, respectively. By cross-referencing the information from the ADS and the WoS, we found three areas with publications of the highest impact: high energies and fundamental physics, stars and stellar physics, and galaxies and cosmology. According to the WoS, at the global level, Colombia ranks 52nd in the number of peer-reviewed publications between 2019 and 2023 and fifth in Latin America. Additionally, we identified three highly cited publications (top 1% worldwide) belonging to the field of observational cosmology.

Keywords: Astronomical research; Bibliometric analysis; Citation analysis; Colombian institutions; Global rankings.

Citación: Guevara-Montoya S, *et al.* Astronomía en Colombia: una perspectiva bibliométrica. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. 48(188):638-657, julio-septiembre de 2024. doi: <https://doi.org/10.18257/raccefyn.2589>

Editor: Santiago Vargas Domínguez

***Correspondencia:**

Jaime E. Forero-Romero;
je.forero@uniandes.edu.co

Recibido: 5 de marzo de 2024

Aceptado: 9 de julio de 2024

Publicado en línea: 12 de agosto de 2024



Este artículo está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-Compartir Igual 4.0 Internacional

Introducción

La astronomía tiene un papel protagónico en la investigación científica a nivel mundial, consolidado a lo largo de casi tres milenios como lo demuestran los primeros registros de observaciones astronómicas sistemáticas (Evans, 1998). Desde la revolución científica iniciada por Galileo en el siglo XVII (Koyre, 1943), la astronomía no solo nos proporciona una comprensión profunda del universo y sus complejidades, sino que también contribuye significativamente al desarrollo tecnológico, generando, por ejemplo, tecnologías para la creación de imágenes con diversas aplicaciones en agricultura, navegación y salud (Fabian, 2010). En el último siglo la astronomía ha impulsado la exploración espacial a través de misiones que recopilan datos cruciales y hacen descubrimientos sobre nuestro sistema solar y más allá (Iacomino, 2019). Hoy, el estudio de la evolución del universo, desde la formación de estrellas hasta la existencia de la materia oscura, pasando por la formación de sistemas planetarios, permite a los científicos explorar los aspectos más fundamentales de la realidad física (Mannheim, 2006).

En el siglo XX, la investigación astronómica experimentó una revolución con el desarrollo de tecnologías como el telescopio espacial y el uso de detectores más sensibles (Benn & Sánchez, 2001). El avance en la comprensión de la física cuántica y la teoría de la relatividad influyó significativamente en la interpretación de los datos astronómicos (Belenchia *et al.*, 2022). En el siglo XXI, la investigación astronómica ha entrado en la era de los *big data*, con telescopios avanzados que generan cantidades ingentes de información (Zhang & Zhao, 2015). El procesamiento computacional y el análisis de datos se han vuelto críticos, lo que ha exigido la convergencia de habilidades en astronomía y ciencias de la computación (Borne, 2010). Además, la cooperación global se ha intensificado aún más, con proyectos que involucran colaboraciones internacionales (Chang & Huang, 2013). Así pues, la astronomía no solo expande nuestro conocimiento del cosmos, sino que también cataliza avances tecnológicos, científicos, educativos y diplomáticos a escala global (Ribeiro *et al.*, 2013).

En ese contexto, las publicaciones arbitradas son cruciales en la investigación astronómica, pues son la principal vía para comunicar y validar los resultados científicos (Chen *et al.*, 2022). Estas revistas científicas, revisadas por pares, actúan como foros donde los astrónomos comparten sus descubrimientos, teorías y observaciones con la comunidad científica internacional. El proceso de revisión por pares asegura la calidad y la validez de la investigación antes de su publicación, contribuyendo a mantener altos estándares académicos (Kelly *et al.*, 2014).

¿Cuál es el grado de inserción de Colombia en estas tendencias globales de la investigación en astronomía? Aquí queremos empezar a dar respuesta a esta pregunta. Queremos dejar un registro histórico sobre la investigación astronómica en Colombia, entendida como la actividad científica que sigue los estándares establecidos en el siglo XX para la recolección de datos de interés astronómico (ya sean observados o simulados), además, hacer su análisis estadístico y una interpretación en términos de otras ciencias naturales en algunos casos para presentar sus principales procedimientos y conclusiones a través de publicaciones arbitradas (Mieg, 2022).

En cuanto a otros estudios similares ya publicados, que dan cuenta de la historia de la investigación astronómica recogida en publicaciones arbitradas, vale la pena mencionar tres precedentes de autores afiliados al Observatorio Astronómico Nacional (OAN) en Bogotá.

El primero, de 1993, corresponde al libro del historiador Jorge Arias de Greiff *La Astronomía en Colombia*, el cual ofrece una revisión histórica de la actividad astronómica en el territorio hoy conocido como Colombia desde la época precolombina (Arias de Greiff, 1993). En él no se mencionan, sin embargo, todas las actividades que permitieron la creación de las publicaciones arbitradas de la época. Solamente se dedican tres páginas a comentarios generales sobre las actividades del OAN entre 1985 y 1992, sin incluir los avances que ya se registraban en la Universidad de los Andes (Uniandes).

El segundo momento corresponde a 2006, cuando el astrónomo William E. Cepeda-Peña presentó una contribución al simposio Astronomy for the Developing World (Cepeda-Peña, 2006), en la que ofrecía una visión de la investigación en astronomía en Colombia que, nuevamente, se limitaba a presentar las actividades del Observatorio Astronómico Nacional (OAN), sin aludir a las actividades y publicaciones que ya existían en otras cuatro instituciones.

El astrónomo Mario A. Higuera-Garzón es el autor de la contribución más reciente, de 2016, presentada durante la XV Reunión Regional Latinoamericana de la Unión Astronómica Internacional (LARIM) en Cartagena, Colombia, en la cual abordó el estado de la astronomía en el país (Higuera-Garzón, 2017). Allí se ofrece un repaso del papel histórico del Observatorio Astronómico Nacional (OAN), seguido de una lista de grupos asociados a universidades que se dedican a la investigación, la enseñanza y la divulgación de la astronomía, mencionando de manera general la labor del OAN, de Uniandes, la UdeA y la UIS. A pesar de ofrecer una visión más amplia, el panorama presentado sigue siendo incompleto. Como veremos más adelante, para ese entonces ya existían por lo menos otras diez instituciones con publicaciones arbitradas en el campo de la astronomía.

Actualmente, entonces, todavía hace falta una visión integral que permita evaluar el alcance y el impacto de las investigaciones astronómicas realizadas en el país que pueden considerarse aportes a la comunidad internacional. En dicho contexto, nos propusimos dar un primer paso en esa dirección analizando aquellas publicaciones arbitradas en el ámbito de la astronomía que cuentan con participación de instituciones colombianas. Las publicaciones arbitradas, además de ser fundamentales para la difusión del conocimiento y la construcción del corpus científico en astronomía, permiten evaluar la reputación de un grupo o comunidad astronómica y su impacto en el quehacer científico global, destacando la importancia de este tipo de estudios en la carrera y el reconocimiento profesional en el campo de la investigación astronómica (Cortés *et al.*, 2018; Crabtree, 2014; Wang *et al.*, 2020).

Las cifras y estadísticas que aquí presentamos, además de haberse obtenido con una metodología que reduce los sesgos de anteriores reportes sobre la investigación astronómica en Colombia, nos permitieron comparar su estatus con el de otros países del mundo. En ese marco hicimos un análisis bibliométrico con el propósito de modelar la producción científica nacional en astronomía. En primer lugar abordamos la importancia y las ventajas de los diferentes criterios utilizados: cantidad de autores, citas, publicaciones, temáticas principales y selección de países para la comparación, y luego describimos las búsquedas de información en las bases de datos escogidas (Astrophysics Data System y Web of Science). Los resultados los presentamos en varias secciones: número de publicaciones, número de citas, publicaciones más citadas a nivel nacional, relación entre el número de citas y el número de autores, y posición de Colombia en el contexto mundial. Por último, concluimos y ofrecemos la perspectiva futura.

Aspectos principales de nuestro análisis bibliométrico

Énfasis en publicaciones arbitradas

Nos enfocamos en el análisis del número de publicaciones arbitradas y de citas, excluyendo consideraciones relacionadas directamente con la enseñanza o la divulgación, a menos que derivaran en publicaciones arbitradas. Por ejemplo, *The Educational and Influential Power of the Sun* (Cárdenas-Avenidaño *et al.*, 2019) es una publicación en el área de la educación y la divulgación que fue arbitrada, por lo que la incluimos en nuestro estudio, pero no tuvimos en cuenta aspectos como la organización de eventos, los trabajos de pregrado y posgrado, o cualquier otro tipo de publicación no arbitrada.

La razón de este enfoque es que los artículos arbitrados son ampliamente reconocidos como el principal resultado del proceso de creación de conocimiento científico. Otra importante motivación es que las publicaciones arbitradas reportan datos consolidados y reconocidos, lo que nos permitió reducir sesgos. En contraste, no existen bases de datos

homogeneizadas a nivel nacional e internacional para los aspectos relacionados con la enseñanza, en tanto que, a menudo, la divulgación científica no cuenta con un registro escrito unificado que pueda consultarse.

Para evitar ambigüedades en el análisis, decidimos utilizar dos plataformas de gran reconocimiento: el Astrophysics Data System (ADS) y la Web of Science (WoS), el primero principalmente para mediciones históricas de la investigación en Colombia, y la segunda, con el fin de hacer comparaciones con otros países del mundo.

Citaciones como índice de impacto

Utilizamos las citas como medida del impacto de las publicaciones de una comunidad científica. Esto tiene varias ventajas. En primer lugar, las citas ofrecen una forma objetiva de evaluar la influencia y la relevancia de un artículo en el campo científico, ya que reflejan el reconocimiento y la validación por parte de otros investigadores. Además, al analizar las citas a lo largo del tiempo, es posible evidenciar la evolución del impacto de un trabajo o área y su contribución continua al avance del conocimiento en un área determinada (Pearce, 2004). Ello permite determinar las publicaciones más influyentes y destacadas en el área de la astronomía, así como dar cuenta de los campos de mayor productividad e impacto dentro de las principales universidades del país.

Sin embargo, deben tenerse en cuenta las limitaciones de la medición del impacto a través de las citas. Por ejemplo, las citas pueden verse influenciadas por factores externos como el prestigio del autor o la revista donde se publicó el artículo, lo que distorsiona la percepción real del impacto de un trabajo (Castillo *et al.*, 2007). Además, el tiempo en que se mantienen las citas varía entre publicaciones, lo que dificulta su comparación.

Asimismo, utilizamos el índice-h, o índice de Hirsch (Hirsch, 2005), para abordar algunas de las limitaciones de las citas individuales tomando en cuenta aquellas recibidas por varias publicaciones en periodos extensos. Este índice se define como el número de artículos dentro de un conjunto que han sido citados al menos h veces cada uno. Si un conjunto de publicaciones tiene un índice-h de 10, significa que tiene como mínimo diez artículos que han sido citados al menos diez veces cada uno.

Por último, como medida del impacto de la investigación astronómica con participación colombiana en el contexto internacional, se utilizó el concepto de artículo altamente citado de WoS. Un artículo altamente citado es aquel que se encuentra en el 1% superior de los artículos con mayor número de citas a nivel mundial en el año de su publicación.

Sería sumamente enriquecedor para la comunidad que en futuros estudios se incluyera un análisis de las instituciones y países con los que más colabora Colombia y las palabras clave o palabras más comunes utilizadas en los resúmenes y los títulos de las publicaciones, con el fin de hacer un análisis de las redes bibliométricas más complejo.

Número de autores

Otro aspecto importante es el número de autores, pues permite estudiar la importancia de las colaboraciones en el desarrollo de artículos científicos, así como determinar las redes científicas que operan en Colombia y evaluar el impacto de las contribuciones individuales y colectivas.

Aunque el número de autores no determina la calidad del artículo, cuando este es elevado, el artículo tiende a tener mayor circulación, lo que incrementa su número de citas y su visibilidad (Tahamtan *et al.*, 2016). Por ello también cuantificamos el número de autores en las publicaciones para estimar hasta qué punto se correlacionaba con un mayor número de citas.

Temáticas

Las temáticas son un factor crucial al analizar los artículos, ya que representan los principales temas de trabajo en el país y en cada institución. Aquí nos enfrentamos a un reto, ya que el manejo de grandes bases de datos dificulta la determinación del tema

principal de cada artículo. Por esta razón, solamente clasificamos los de mayor impacto a partir de la clasificación de las nueve divisiones de trabajo establecidas por la Unión Astronómica Internacional (UAI):

- División A: Astronomía fundamental
- División B: Instalaciones, tecnologías y ciencia de datos
- División C: Educación, divulgación y patrimonio
- División D: Fenómenos de altas energías y Física fundamental
- División E: Sol y heliosfera
- División F: Sistemas planetarios y Astrobiología
- División G: Estrellas y Física estelar
- División H: Materia interestelar y universo local
- División J: Galaxias y Cosmología

En ese marco, pudimos determinar las áreas de investigación de las publicaciones más influyentes en nuestro país para así revisar las fortalezas en diferentes campos de estudio, y establecer los temas de menor interés y los problemas que no permiten su desarrollo al mismo nivel.

Selección de países para las comparaciones

Nos interesaba comparar la actividad astronómica colombiana con la de otros países del mundo. Para ello, comparamos el número total de publicaciones durante cinco años, del 2019 al 2023, utilizando los datos de WoS. Los países incluidos en nuestra comparación se dividen en dos grupos: el primero comprende aquellos con un número igual o mayor de publicaciones que Colombia, y el segundo está conformado por países de América Latina y el Caribe con al menos una publicación. Esto nos permitió compararnos con naciones que comparten similitudes lingüísticas, culturales e históricas, así como desafíos comunes en el desarrollo científico y tecnológico.

Bases de datos

Utilizamos dos bases de datos: el Astrophysics Data System (ADS) y la Web of Science (WoS). El ADS es un sistema de búsqueda y recuperación de información académica en el campo de la astronomía y la astrofísica ampliamente utilizado en la comunidad astronómica. Es una herramienta valiosa para la investigación y el acceso a la información en este campo. La plataforma es mantenida por la National Aeronautics and Space Administration (NASA) de los Estados Unidos y su interfaz web es de acceso público.

Web of Science (WoS) es una plataforma en línea que proporciona acceso a una amplia gama de recursos académicos y científicos. Desarrollada por Clarivate Analytics, es conocida por ser una de las bases de datos más completas y respetadas para la investigación científica y académica. El acceso completo a sus recursos requiere una suscripción paga.

En las dos bases de datos utilizamos la clasificación temática interna más cercana a la astronomía. En el caso de ADS, los artículos pueden recibir cuatro clasificaciones según la temática: Astronomía, Física, Ciencias de la Tierra y General. En la WoS, la clasificación abarca diez macrotemas; en ese marco la Astronomía y la Astrofísica constituyen un mesotema específico bajo el macrotema de Física. Otros mesotemas relacionados son, por ejemplo, Partículas y Campos, Ciencias Meteorológicas y Atmosféricas, y Ciencias Espaciales.

Para concentrarnos en la productividad de la investigación reconocida plenamente como astronomía, incluimos únicamente las publicaciones que se clasifican exclusivamente en el área “Astronomy” en el ADS o “Astronomy & Astrophysics” en la WoS. Con ello excluimos publicaciones relativas a la física de partículas, la teoría de campos y la gravitación. Además, en el caso del ADS, seleccionamos explícitamente registros de publicaciones arbitradas para evitar la inclusión de las no revisadas por pares en el repositorio arXiv, las cuales ya se encuentran excluidas de los resultados de la WoS.

Los resultados provenientes del ADS los utilizamos solamente para obtener estadísticas sobre Colombia, pero no sobre el resto de los países. La gran ventaja del ADS frente a la WoS es que incluye artículos desde 1800, lo cual nos sirve para trazar una historia desde las primeras épocas de las publicaciones arbitradas.

Astrophysics Data System

En la página del ADS hicimos una búsqueda de todos los artículos en los que la afiliación de los autores contenía la palabra “Colombia”. A diferencia de la WoS, el ADS no indexa las publicaciones con el país de origen de las instituciones asociadas a los autores. Por lo tanto, nos vimos obligados a utilizar la palabra “Colombia” en la búsqueda, lo que conlleva el riesgo de encontrar publicaciones que no están directamente relacionadas con el país, sino que simplemente incluyen una institución con la palabra “Colombia”. Para mitigar este riesgo, intentamos eliminar las combinaciones de palabras que podrían generar confusiones, como “Colombia Astrophysics Laboratory”, “British Colombia” o “Av. Gran Colombia”. Los resultados de esta búsqueda están disponibles en la siguiente página web del ADS: <https://ui.adsabs.harvard.edu/public-libraries/H5bjkAIXSYaZcO4qGcKxOw>.

Además, hicimos cuatro búsquedas adicionales para filtrar datos de las cuatro instituciones que más publican en el país; según la clasificación del ADS estas son la Universidad de los Andes, la Universidad Nacional de Colombia, la Universidad Industrial de Santander y la Universidad de Antioquia.

Otros resultados obtenidos del ADS incluyeron las citas por cada artículo, el número de autores para cada artículo, y el cálculo del índice-h para grupos de artículos. Las cifras provenientes del ADS correspondían a marzo del 2024.

Web of Science

En la Web of Science (WoS) buscamos en las “Web of Science Categories” todas las entradas bibliográficas clasificadas como “Astronomy & Astrophysics”. Luego, en la categoría “Citation Topics Meso” nos enfocamos exclusivamente en las entradas clasificadas bajo “5.20 Astronomy and Astrophysics” hasta el año 2023. Por último, seleccionamos los artículos que la WoS indexa como asociados a Colombia. Para asegurarnos de tener un conjunto de datos representativo de la actividad reciente, creamos otro conjunto en el que restringimos las publicaciones al periodo de 2019 a 2023, inclusive.

Es importante destacar que los datos que utilizamos corresponden a una consulta realizada en enero de 2024, cuando la WoS aún incluía publicaciones desde el año 1900. Sin embargo, la versión actual de la WoS (posterior al 4 de febrero de 2024) solamente considera publicaciones en esta área realizadas desde 1988 hasta la fecha.

A partir de los resultados obtenidos en la WoS, utilizamos los siguientes datos calculados dentro de la misma base de datos: la evolución temporal de las publicaciones y las citas de trabajos realizados en Colombia; el número de citas de las publicaciones más citadas de las principales universidades de Colombia mencionadas; el número total de publicaciones y las altamente citadas para los países de referencia en el periodo de cinco años (2019-2023).

Resultados

Número de publicaciones

En el ADS encontramos 422 publicaciones arbitradas relacionadas con Colombia. La **tabla 1** presenta información detallada sobre las 25 instituciones que identificamos en al menos una de las publicaciones. En la tabla se muestran el índice-h, el número total de publicaciones, el número total de citas para cada institución y el año de la primera publicación de cada institución. Se destacaron cuatro instituciones con la mayor cantidad de artículos: la Universidad de los Andes, la Universidad Nacional de Colombia, la Universidad Industrial de Santander y la Universidad de Antioquia, con 104, 78, 68 y 67 artículos, respectivamente.

Tabla 1. Instituciones colombianas que participan en artículos de astronomía según la selección hecha en el ADS.

Rango	Universidad	Índice-h	Número de publicaciones	Número de citaciones	Año inicial
1	Universidad de los Andes	26	104	2617	1980
2	Universidad Nacional de Colombia	20	78	1010	1980
3	Universidad Industrial de Santander	19	68	4734	2006
4	Universidad de Antioquia	18	67	1387	2010
5	Universidad de Medellín	13	19	534	2010
6	Universidad del Valle	7	15	117	2012
7	Universidad de Nariño	6	10	137	2015
8	Universidad Tecnológica de Bolívar	5	10	144	2011
9	Fundación Universitaria Konrad Lorenz	5	7	387	2016
10	Universidad Tecnológica de Pereira	4	13	62	1997
11	Universidad ECCI	4	8	50	2017
12	Universidad de los Llanos	4	8	38	2017
13	Centro Internacional de Física	4	7	48	1995
14	Universidad Antonio Nariño	4	5	126	2006
15	Universidad Distrital Francisco José de Caldas	2	5	23	2012
16	Universidad Sergio Arboleda	2	3	46	2010
17	Universidad Militar Nueva Granada	2	3	28	2017
18	Universidad del Atlántico	1	5	6	1997
19	Pontificia Universidad Javeriana	1	3	5	2018
20	Universidad EAN	1	2	2	2023
21	Universidad El Bosque	1	1	152	2023
22	Universidad EAFIT	1	1	8	2019
23	Universidad de Córdoba	1	1	2	2022
24	Corporación Universitaria Autónoma del Cauca	1	1	1	2019
25	Universidad Mariana	0	1	0	2023

En la **tabla 1** es posible ver que para la fecha de la publicación del libro *La astronomía en Colombia* (Arias de Greiff, 1993), ya había dos universidades con publicaciones arbitradas en el área de astronomía. En el 2005, año de la celebración del simposio Astronomy for the developing world (Cepeda-Peña, 2006), eran cinco las instituciones que contaban con publicaciones, en tanto que en el 2016, año que sesionó la XV LARIM con el tema Astronomy in Colombia (Higuera-Garzón, 2017), eran 15 las universidades con participación en actividades de investigación registradas en publicaciones arbitradas.

Según el ADS, los primeros artículos se remontan a 1980. Uno de ellos, publicado en la Revista Colombiana de Física por José Granés, físico colombiano profesor del Departamento de Física de la Sede Bogotá de la Universidad Nacional de Colombia, aborda una comparación de los conceptos de espacio y tiempo en la física clásica y la relatividad especial. Este texto de carácter expositivo no ha recibido citaciones hasta la fecha (Granés, 1980).

El otro artículo, publicado en agosto de 1980, es de un astrónomo alemán y profesor del Departamento de Física de la Universidad de los Andes en Bogotá. Este artículo, que se encuentra en las *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, presenta un análisis de datos fotométricos de la estrella cefeida AH Velorum y sugiere que se trata en realidad de una binaria que tiene una compañera. Este texto investigativo ha recibido seis citas hasta la fecha (Gieren, 1980). Hasta donde sabemos, es Gieren la primera persona con un título de doctorado en dedicarse a la investigación astronómica en Colombia.

Un análisis de los temas y enfoques metodológicos abordados en estos dos artículos permite situar los inicios de la investigación astronómica contemporánea en Colombia a partir del trabajo precursor llevado a cabo por Gieren en el Departamento de Física de la Universidad de los Andes, en Bogotá.

La **figura 1** muestra el número acumulado de artículos publicados hasta un año determinado entre 1980 y 2023. Las dos líneas continuas representan los resultados del ADS y la WoS y las otras líneas corresponden a los resultados de las cuatro universidades con mayor producción.

Definimos tres fases de las publicaciones totales de Colombia a partir de los cambios reflejados en la gráfica. En la primera fase, que denominamos la fase pionera y abarca aproximadamente una década, desde 1980 hasta 1989, se superó apenas la primera decena de publicaciones a lo largo del periodo.

En la segunda fase, que abarca alrededor de dos décadas, desde 1990 hasta 2009, se publicaron 40 artículos, con una tasa promedio de alrededor de 20 artículos por década, lo que multiplicó por dos la tasa de publicaciones de la fase anterior. Durante estas dos primeras fases se observa una clara hegemonía de dos universidades en Bogotá: la Universidad Nacional en primer lugar y la Universidad de los Andes en segundo lugar. A estas dos décadas las denominamos la fase del desarrollo.

Entre el 2010 y el 2019 entramos en una tercera fase en la que se registraron cerca de 200 artículos nuevos, es decir, se multiplicó por diez la tasa de publicaciones por década en comparación con la fase anterior. Además, la hegemonía de Bogotá ya no lo fue del todo, al agregarse las principales universidades de Medellín y Bucaramanga: la Universidad de Antioquia y la Universidad Industrial de Santander. En esta década, la Universidad de los Andes se convierte en la institución con el mayor número de publicaciones en total. A esta década la denominamos fase de consolidación.

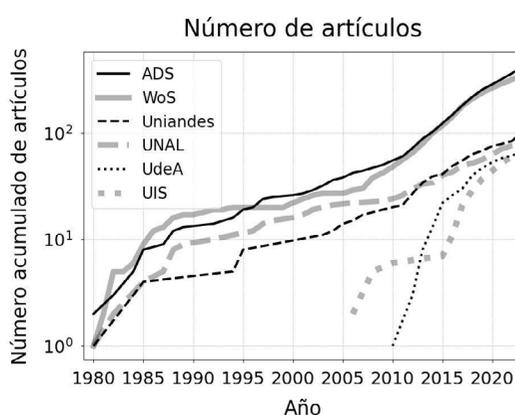


Figura 1. Número acumulado de artículos publicados en astronomía con participación de instituciones colombianas desde la primera publicación en 1980 hasta 2023, según los datos de las bases de datos ADS y WoS. Se observa una tendencia de crecimiento exponencial en las publicaciones a lo largo de estos años. Las instituciones con mayor número de publicaciones son la Universidad de los Andes (Uniandes), la Universidad Nacional de Colombia (UNAL), la Universidad de Antioquia (UdeA) y la Universidad Industrial de Santander (UIS). Los cambios en la gráfica permiten establecer tres etapas diferentes: la fase pionera, de 1980 a 1989, la fase de desarrollo, de 1990 a 2009, y la fase de consolidación, de 2010 a 2019.

Por último, en el inicio de la nueva década, entre el 2020 y el 2023, se registraron cerca de 170 publicaciones nuevas, lo que permite inferir que hacia el 2029 se habrán publicado alrededor de 400 artículos nuevos, duplicándose la tasa de publicaciones de la década anterior.

Número de citaciones

En la **figura 2** se presenta el número de citaciones por año de los artículos publicados hasta la fecha indicada. Las dos líneas continuas muestran los resultados obtenidos en el ADS y la WoS, mientras que la línea puntuada representa el promedio de ambas fuentes, el cual nos permitió evidenciar una tendencia más robusta, ya que se tienen en cuenta los resultados en ambas bases de datos. Estos reflejan una historia similar a la observada en las diferentes fases separadas por décadas con base en el número de publicaciones.

Durante la primera década, de 1980 a 1989, la tasa de citaciones anuales apenas superó las 10 por año. En las siguientes dos décadas, de 1990 a 2009, se observa un incremento de aproximadamente 100 citaciones por año, aumento que continuó hasta la década de 2010 a 2019, cuando la tasa de citaciones creció casi diez veces, alcanzando cerca de 1.000 citaciones anuales.

Las 422 publicaciones colombianas en el ADS tuvieron en conjunto 10.946 citaciones, lo que corresponde a un promedio de 25 citaciones por artículo. Las citaciones acumuladas por las cuatro universidades líderes alcanzaron las 2.617 de Uniandes, las 1.010 de la UNAL, las 4.734 de la UIS y las 1.387 de la UdeA. Además, el índice-h de las publicaciones colombianas en su conjunto fue de 42, mientras que Uniandes, UNAL, UIS y UdeA tuvieron índices-h de 26, 20, 19 y 18, respectivamente.

Las publicaciones más citadas a nivel nacional

Para ampliar aún más el panorama de las publicaciones e instituciones con mayor impacto, establecimos los artículos con el mayor número de citaciones. Estas se calcularon a partir del promedio entre el ADS y la WoS, por lo que las publicaciones que consideramos en esta sección deben encontrarse en ambas bases de datos.

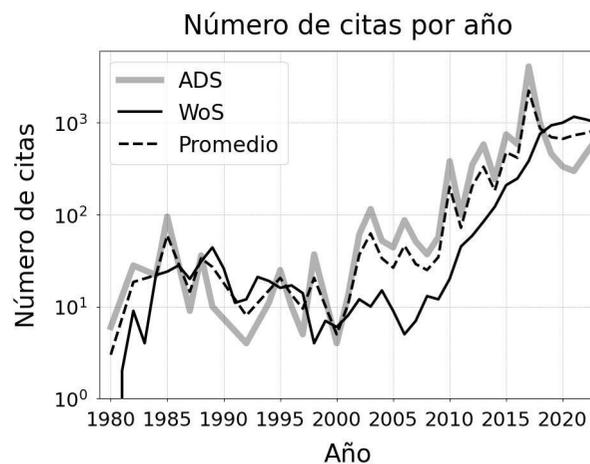


Figura 2. Número de citaciones recibidas por año de las publicaciones astronómicas con participación de instituciones colombianas desde 1980 hasta 2023, según los datos de las bases de datos ADS y WoS, así como su respectivo promedio. Se observa una tendencia creciente en el número de citas a lo largo del tiempo, con fluctuaciones año tras año. A partir de 2005, hubo un aumento más pronunciado en el número de citas recibidas anualmente, lo que sugiere un mayor impacto de las investigaciones colombianas en astronomía en los últimos años. Las citas anuales apenas superaban las diez citaciones por año en la fase pionera (1980-1989). Durante la fase de desarrollo (1990-2009) se incrementaron a 100 citaciones por año, aproximadamente, y, finalmente, hacia el cierre de la fase de consolidación (2010-2019), se alcanzaron cerca de 1.000 citaciones anuales.

La **tabla 2** resume la información relativa a los diez artículos más citados, que representan aproximadamente el 2% superior de las publicaciones con participación colombiana. Incluimos el título, el año de publicación, el número de citas, el número de autores, las universidades colombianas involucradas y la clasificación UAI.

A partir de esta tabla, podemos extraer varias observaciones interesantes:

- Tres áreas de conocimiento dominan: los fenómenos de altas energías y física fundamental, estrellas y física estelar, galaxias y cosmología.
- Cada una de estas tres áreas corresponde a tres universidades: la UIS para altas energías, la UdeA para física estelar y Uniandes para galaxias y cosmología.
- La UNAL, a pesar de tener un número relativamente alto de publicaciones, no logró posicionar ninguna de sus publicaciones entre las diez con más citas.
- Las publicaciones con participación de la UIS tuvieron muchos más coautores por artículo que las otras, lo cual se explica por su participación en el Observatorio de Rayos Cósmicos Pierre Auger.
- Los artículos más citados fueron publicados en la década de 2010 a 2019.

Para afinar el grupo de las publicaciones más citadas, listamos las cinco más citadas de cada una de las cuatro universidades líderes. La misma información de la **tabla 2** se proporciona para Uniandes, UNAL, UIS y UdeA en las **tablas 3, 4, 5 y 6**, respectivamente.

Los artículos más influyentes correspondientes a Uniandes se centran todos en el área de galaxias y cosmología y fueron publicados entre 2013 y 2018, durante la fase de consolidación (2010-2019). Estas publicaciones implican colaboraciones pequeñas, con un rango de 7 a 32 autores, y todas superan la centena de citas.

Tabla 2. Los diez artículos con más citas. La segunda columna corresponde al número de citas promedio entre el ADS y la WoS, la tercera al número de autores del artículo, la cuarta a las universidades colombianas con participación en el artículo referenciado y la última presenta la división correspondiente de la UAI.

Título y referencia	Citaciones	Autores	Universidades	División IAU
Multi-messenger Observations of a Binary Neutron Star Merger, Abbott et al. , 2017	2.468	3630	UIS	Fenómenos de altas energías y física fundamental
A Library of Theoretical Ultraviolet Spectra of Massive, Hot Stars for Evolutionary Synthesis, Leitherer et al. , 2010	253	8	UdeA	Estrellas y física estelar
Tracing the cosmic web, Libeskind et al. , 2018	171,5	30	Uniandes	Galaxias y cosmología
Binary Neutron Star Mergers: A Jet Engine for Short Gamma-Ray Bursts, Ruiz et al. , 2016	162	4	UIS	Fenómenos de altas energías y física fundamental
An Indication of Anisotropy in Arrival Directions of Ultra-high-energy Cosmic Rays through Comparison to the Flux Pattern of Extragalactic Gamma-Ray Sources, Aab et al. , 2018	161,5	392	UIS	Fenómenos de altas energías y física fundamental
The MultiDark Database: Release of the Bolshoi and MultiDark cosmological simulations, Riebe et al. , 2013	153,5	11	Uniandes	Galaxias y cosmología
Search for High-energy Neutrinos from Binary Neutron Star Merger GW170817 with ANTARES, IceCube, and the Pierre Auger Observatory, Albert et al. , 2017	153,5	1941	UIS	Fenómenos de altas energías y física fundamental
(Almost) Dark Galaxies in the ALFALFA Survey: Isolated HI-bearing Ultra-diffuse Galaxies, Leisman et al. , 2017	151,5	12	Uniandes	Galaxias y cosmología
Probing the role of the galactic environment in the formation of stellar clusters, using M83 as a test bench, Adamo et al. , 2015	147	5	UdeA	Estrellas y física estelar
The velocity shear tensor: tracer of halo alignment, Libeskind et al. , 2013	113,5	7	Uniandes	Galaxias y cosmología

Tabla 3. Los cinco artículos con más citaciones (promedio entre ADS y WoS) con participación de la Universidad de los Andes

Título y referencia	Citaciones	Autores	División IAU
Tracing the cosmic web, Libeskind <i>et al.</i> , 2018	171,5	30	Galaxias y cosmología
The MultiDark Database: Release of the Bolshoi and MultiDark cosmological simulations, Riebe <i>et al.</i> , 2013	153,5	11	Galaxias y cosmología
(Almost) Dark Galaxies in the ALFALFA Survey: Isolated HI-bearing Ultra-diffuse Galaxies, Leisman <i>et al.</i> , 2017.	151,5	12	Galaxias y cosmología
The velocity shear tensor: tracer of halo alignment, Libeskind <i>et al.</i> , 2013	113,5	7	Galaxias y cosmología
The Large-scale Structure of the Halo of the Andromeda Galaxy. II. Hierarchical Structure in the Pan-Andromeda Archaeological Survey, McConnachie <i>et al.</i> , 2018.	109	32	Galaxias y cosmología

Tabla 4. Los cinco artículos con más citaciones (promedio entre ADS y WoS) con participación de la Universidad Nacional de Colombia

Título y referencia	Citaciones	Autores	División UAI
Spin Evolution of Accreting Young Stars. II. Effect of Accretion-powered Stellar Winds. Matt <i>et al.</i> , 2012	67	4	Estrellas y física estelar
Spin Evolution of Accreting Young Stars I. Effect of Magnetic Star-Disk Coupling, Matt <i>et al.</i> , 2010	63	4	Estrellas y física estelar
The Near-infrared Coronal Line Spectrum of 54 nearby Active Galactic Nuclei, Rodríguez-Ardila <i>et al.</i> , 2011	49	4	Galaxias y cosmología
Near-Infrared Coronal Lines in Narrow-Line Seyfert 1 Galaxies, Rodríguez-Ardila <i>et al.</i> , 2002	41,5	4	Galaxias y cosmología
Dwarf spheroidal satellites of the Milky Way from dark matter free tidal dwarf galaxy progenitors: maps of orbits, Casas <i>et al.</i> , 2012	36,5	4	Galaxias y cosmología

En el caso de la UNAL, los artículos más influyentes abarcan dos temáticas: estrellas y física estelar y galaxias y cosmología. Los primeros cuatro artículos implican la participación del OAN, mientras que el último corresponde a participantes del Departamento de Física. Estas publicaciones se distribuyen en un período que abarca desde 2002 hasta 2012, cerca del final de las décadas de desarrollo. Se destaca que todas estas publicaciones corresponden a un grupo pequeño de colaboradores, con cuatro autores en cada caso, y ninguna supera las cien citaciones.

Resalta el hecho de que cuatro de las publicaciones de la UIS tienen un gran número de autores, casi dos órdenes de magnitud por encima de Uniandes y la UNAL. Todas las publicaciones se centran en el área de altas energías y física fundamental y se elaboraron entre el 2016 y el 2019, hacia el final de la década de consolidación. La mayoría de ellas supera la centena de citaciones en promedio, y es notable que la más citada tiene más de 2.000 citaciones y más de 3.500 autores.

Por último, en los artículos de la UdeA se observa que el tema dominante es estrellas y física estelar. Solo tres de estos artículos superan las 100 citaciones, y todos fueron publicados entre el 2010 y el 2015, en el inicio de la fase de consolidación. Se destaca que estas publicaciones corresponden a colaboraciones más pequeñas, con un rango de cuatro a 24 autores.

Tabla 5. Los cinco artículos con más citaciones (promedio entre ADS y WoS) con participación de la Universidad Industrial de Santander

Título y referencia	Citaciones	Autores	División UAI
Multi-messenger Observations of a Binary Neutron Star Merger, Abbott et al. , 2017	2468	3630	Fenómenos de altas energías y física fundamental
Binary Neutron Star Mergers A Jet Engine for Short Gamma-Ray Bursts, Ruiz et al. , 2016	162	4	Fenómenos de altas energías y física fundamental
An Indication of Anisotropy in Arrival Directions of Ultra-high-energy Cosmic Rays through comparison to the Flux Pattern of Extragalactic Gamma-Ray Sources, Aab et al. , 2018	161,5	392	Fenómenos de altas energías y física fundamental
Search for High-energy Neutrinos from Binary Neutron Star Merger GW170817 with ANTARES, IceCube, and the Pierre Auger Observatory, Albert et al. , 2017	153,5	1941	Fenómenos de altas energías y física fundamental
Probing the origin of ultra-high-energy cosmic rays with neutrinos in the EeV energy range using the Pierre Auger Observatory, Aab et al. , 2019	87,5	391	Fenómenos de altas energías y física fundamental

Tabla 6. Los cinco artículos con más citaciones (promedio entre ADS y WoS) con participación de la Universidad de Antioquia.

Título y referencia	Citaciones	Autores	División UAI
A Library of Theoretical Ultraviolet Spectra of Massive, Hot Stars for Evolutionary Synthesis, Leitherer et al. , 2010	253	8	Estrellas y física estelar
Probing the role of the galactic environment in the formation of stellar clusters, using M83 as a test bench, Adamo et al. , 2015	147	5	Estrellas y física estelar
Studying the YMC population of M83: how long clusters remain embedded, their interaction with the ISM and implications for GC formation theories, Hollyhead et al. , 2015	108	7	Estrellas y física estelar
Galaxy Cluster Mass Reconstruction Project - II. Quantifying scatter and bias using contrasting mock catalogues, Old et al. , 2015	64,5	24	Galaxias y cosmología
No evidence for significant age spreads in young massive LMC clusters, Niederhofer et al. , 2015	64	4	Estrellas y física estelar

En un próximo trabajo sería de gran interés entender y cuantificar el aporte de los autores vinculados a instituciones colombianas, lo que requeriría un análisis más cuidadoso y detallado, puesto que no siempre el orden de los autores es indicativo de su aporte, ya que, a veces, la lista de autores está en orden alfabético, por ejemplo.

Relación entre el número de citaciones y el número de autores

Los resultados expuestos sugieren que existen dinámicas de trabajo que llevan a artículos firmados por un pequeño número de colaboradores que no supera la decena, en tanto que otros tipos de trabajos implican la colaboración de cientos o miles de personas.

Para cuantificar la influencia de los pequeños grupos y las grandes colaboraciones, revisamos el promedio del número de autores de las publicaciones. En la **figura 3** se muestra el promedio de autores entre 1980 y 2023. Es evidente que hasta el 2015, los artículos colombianos tenían un número promedio de autores cercano a la decena. Sin embargo, a partir del 2016, se observa una transición en la que el número promedio de autores aumenta drásticamente, llegando a la centena. Este cambio se debe, en gran medida, a los artículos del Observatorio de Rayos Cósmicos Pierre Auger con participación de la UIS y la Universidad de Medellín (UdeM).

En la **figura 4** se observa la influencia del tamaño de las colaboraciones (eje horizontal, histograma de la parte superior) en la tasa anual promedio de citas (eje vertical, histograma del lado derecho). En primer lugar, se ve que la mayoría de los artículos tienen cuatro o cinco autores. Los artículos con más de cinco autores muestran una incidencia

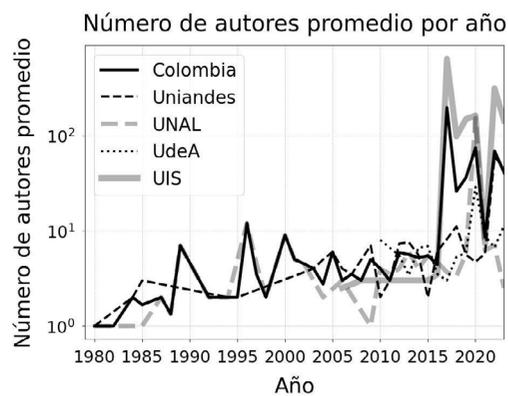


Figura 3. Promedio del número de autores por artículo en cada año. Se observa un aumento drástico de autores a partir del 2016 gracias a los artículos del Observatorio de Rayos Cósmicos Pierre Auger con participación de la UIS y la UdeM. Antes de eso el promedio de autores no superaba la decena.

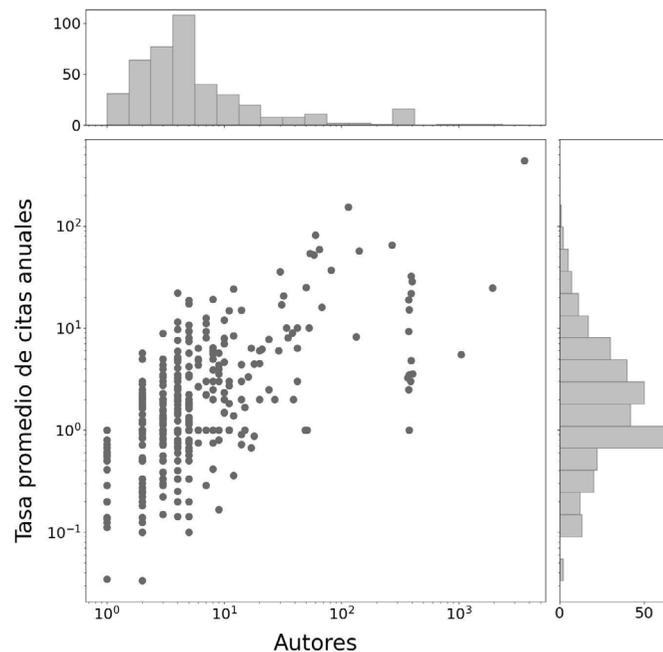


Figura 4. Tasa promedio de citas anuales como función del número total de autores para las publicaciones del ADS con al menos una citación. Estos datos presentan una correlación de Pearson de 0,78.

decreciente, excepto los artículos con entre 40 y 70 autores y, posteriormente, los artículos con entre 300 y 400 autores. Se observa, asimismo, que la moda de la tasa anual de citaciones es de alrededor de una citación anual, con valores mínimos cercanos a una citación cada 10 años y máximos cercanos a 100 citaciones por año.

Por último, confirmamos que existe una correlación de Pearson positiva entre el número de autores y la tasa anual de citaciones de 0,78. Aunque los datos presentan un alto grado de dispersión, nuestros resultados respaldan hallazgos anteriores que indican que los artículos con un mayor número de autores tienden a acumular un mayor número de citaciones en un período determinado (Tahamtan *et al.*, 2016).

Colombia en el contexto mundial

Para ubicar a Colombia en el contexto mundial utilizamos los resultados de la WoS para el periodo de cinco años entre el 2019 y el 2023. Obtuvimos el número total de publicaciones y el número de artículos que se consideran altamente citados.

La lista de países seleccionados corresponde a la unión de dos conjuntos. El primero es la lista de naciones reportadas por la WoS con un número mayor o igual de publicaciones que Colombia. Estas son (en orden decreciente de publicaciones totales): Estados Unidos (USA), Alemania (DEU), Inglaterra (ENG), Italia (ITA), China (CHN), Francia (FRA), España (ESP), Japón (JPN), Australia (AUS), Países Bajos (NLD), Chile (CHL), Canadá (CAN), Rusia (RUS), Suiza (CHE), India (IND), Suecia (SWE), Dinamarca (DNK), Corea del Sur (KOR), Polonia (POL), Escocia (SCT), Sudáfrica (ZAF), Brasil (BRA), Bélgica (BEL), México (MEX), Taiwán (TWN), Israel (ISR), Argentina (ARG), República Checa (CZE), Austria (AUT), Finlandia (FIN), Portugal (PRT), Hungría (HUN), Irlanda (IRL), Grecia (GRC), Irlanda del Norte (NIR), Gales (WLS), Nueva Zelanda (NZL), Emiratos Árabes Unidos (ARE), Ucrania (UKR), Noruega (NOR), Turquía (TUR), Irán (IRN), Tailandia (THA), Serbia (SRB), Eslovaquia (SVK), Croacia (HRV), Eslovenia (SVN), Bulgaria (BGR), Armenia (ARM), Estonia (EST) y Vaticano (VAT). El segundo conjunto de naciones corresponde a las de América Latina y el Caribe que no se encuentran en el conjunto anterior y tienen al menos una publicación. Estas son: Uruguay (URY), Ecuador (ECU), Venezuela (VEN), Costa Rica (CRI), Perú (PER), Guatemala (GTM), Cuba (CUB), Honduras (HND), Bolivia (BOL), Nicaragua (NIC), El Salvador (SLV) y Paraguay (PRY).

La **figura 5** muestra el número total de publicaciones de todas estas naciones. Observamos que estos datos evidencian una relación exponencial, lo que indica que una distribución de ley de potencias no sería un buen ajuste, como se esperaría a partir de la amplia variedad de distribuciones de tamaño y rango descritas por la ley de Zipf (Clauset *et al.*, 2009).

En este ordenamiento por citaciones, los tres primeros lugares los ocupan Estados Unidos, Alemania e Inglaterra. Colombia se encuentra en el lugar 52 a nivel global. A nivel de Latinoamérica, ocupa la quinta posición después de Chile (11), Brasil (22), México (24) y Argentina (27), aquí el número entre paréntesis corresponde a la posición global. En América Latina y el Caribe, las posiciones inferiores del *ranking* las ocupan Uruguay (73), Ecuador (78), Venezuela (82), Costa Rica (84), Perú (85), Guatemala (88), Cuba (89), Honduras (95), Bolivia (102), Nicaragua (103), El Salvador (126) y Paraguay (130).

En la **figura 6** se muestra el número de artículos altamente citados (en el 1 % superior de citaciones a nivel global en su año de publicación) en función del número total de artículos publicados. Es reconfortante ver que Colombia cuenta con tres artículos en esta selección, lo que corresponde aproximadamente al 2 % de los artículos publicados con participación colombiana, una fracción comparable a la de otros países como Brasil, Chile y Estados Unidos.

Los siguientes son los tres artículos colombianos más citados, los cuales se publicaron en el 2023 y corresponden a una colaboración de cosmología observacional llamada Dark Energy Spectroscopic Instrument:

- The Target-selection Pipeline for the Dark Energy Spectroscopic Instrument, (Myers *et al.*, 2023), con participación de Uniandes.

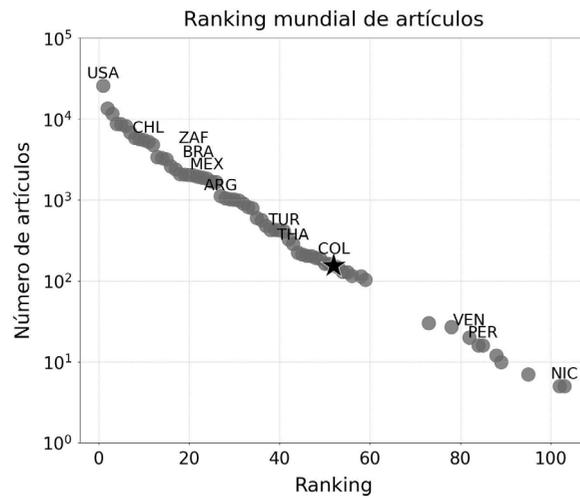


Figura 5. Distribución de tamaño y rango del número total de publicaciones entre 2019 y 2023 en la WoS. Se incluyen las naciones con un número igual o mayor de publicaciones que Colombia (COL), además de otras naciones de América Latina que tienen al menos una publicación. Colombia se encuentra en la posición 52 a nivel mundial.

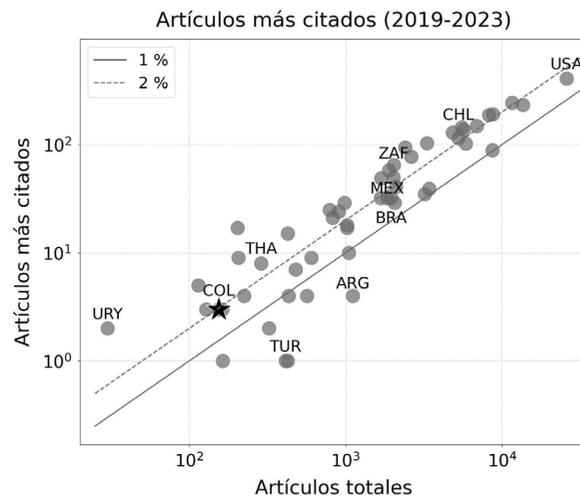


Figura 6. Artículos más citados (1 % superior a nivel mundial) entre el 2019 y el 2023 comparados con el número de artículos del 2019 a 2023, según la WoS. Se muestra, además, el 1 % (línea continua) y el 2 % (línea discontinua) de los artículos totales de cada país. Colombia cuenta con tres artículos en el grupo más citado, lo que representa aproximadamente el 2 % de todos los artículos publicados con participación colombiana.

- The Spectroscopic Data Processing Pipeline for the Dark Energy Spectroscopic Instrument (Guy *et al.*, 2023), con participación de Uniandes.
- The DESI Bright Galaxy Survey: Final Target Selection, Design, and Validation (Hahn *et al.*, 2023), con participación de Uniandes y la Universidad Tecnológica de Bolívar.

Conclusiones

La investigación astronómica en Colombia está experimentando un periodo de crecimiento y consolidación. Sin embargo, los registros históricos de esta evolución no ofrecen una visión completa a nivel nacional (Cepeda-Peña, 2006; Arias de Greiff,

1993; **Higuera-Garzón**, 2017). En este artículo se buscó llenar ese vacío mediante el análisis de publicaciones arbitradas con participación de instituciones colombianas, dada la importancia de este tipo de producción bibliográfica en la difusión del conocimiento y la reputación internacional de la comunidad astronómica del país.

Los datos y estadísticas presentados se basan en las publicaciones arbitradas encontradas en las bases de datos Astrophysics Data System y Web of Science. Esta aproximación bibliométrica permitió minimizar sesgos, pues no se hizo una selección previa de las instituciones sujetas a estudio. Por el contrario, el análisis de estas publicaciones nos permitió establecer las principales universidades y áreas que han contribuido al crecimiento de la investigación astronómica en Colombia.

Esta perspectiva bibliométrica nos proporciona una serie de conclusiones significativas:

1. **Diversidad.** Encontramos que al menos 25 instituciones diferentes han participado en las publicaciones arbitradas incluidas en el ADS, las cuales se ubican en 11 ciudades diferentes, todas ellas capitales departamentales (en paréntesis indicamos el número de instituciones): Barranquilla (1), Bogotá (11), Bucaramanga (1), Cali (2), Cartagena (1), Medellín (3), Montería (1), Pasto (2), Pereira (1), Popayán (1) y Villavicencio (1). Además, la mayoría de dichas instituciones (14 de 25) son de origen privado, mientras que las otras (11 de 25) son de origen estatal. Encontramos cuatro instituciones que tienen una clara preeminencia: la Universidad de los Andes, la Universidad Nacional de Colombia, la Universidad Industrial de Santander y la Universidad de Antioquia, ubicadas en tres ciudades diferentes.
2. **Los inicios.** El año 1980 marca de manera apropiada el surgimiento de la era contemporánea de la investigación astronómica en Colombia, evidenciado por la primera publicación en una revista internacional arbitrada de astronomía hecha por un científico afiliado a una institución colombiana.
3. **Cuatro décadas de evolución.** Durante la primera década (fase pionera), de 1980 a 1989, las publicaciones arbitradas eran esporádicas, con una tasa promedio de una publicación por año. Dichas contribuciones estuvieron dominadas principalmente por dos instituciones en Bogotá: la Universidad Nacional de Colombia y la Universidad de los Andes. En las dos décadas siguientes (fase de desarrollo) la productividad se duplicó, con un promedio de dos publicaciones por año entre 1990 y 2009. Además, dos instituciones más ingresaron en el ámbito de la investigación astronómica: la Universidad de Antioquia y la Universidad Industrial de Santander. En la década de 2010 a 2019 (fase de consolidación) la productividad se multiplicó por un factor de diez con respecto a la década anterior, con cerca de 20 publicaciones por año.
4. **El comienzo de la quinta década.** En los últimos cuatro años, de 2020 a 2023, se ha observado un nuevo crecimiento en la tasa de publicaciones, con cerca de 40 por año. Durante este periodo, el número de publicaciones es comparable al total de las cuatro décadas anteriores (1980-2019), lo que se explica, en parte, por la participación en colaboraciones científicas internacionales.
5. **Alto impacto.** Encontramos que los artículos con mayor número de citas abarcan tres áreas: fenómenos de altas energías y física fundamental, estrellas y física estelar, galaxias y cosmología.

Uniendo muestra una concentración de artículos en el campo de galaxias y cosmología, con colaboraciones entre siete y 32 autores, todos ellos con más de 100 citas. En la UIS, se destaca con artículos en el campo de altas energías y física fundamental, con colaboraciones numerosas (cerca de 400 autores), superando la mayoría de las publicaciones las 100 citas. Los artículos de la UdeA se centran en el campo de estrellas y física estelar, con colaboraciones de una decena de autores, superando algunos artículos las 100 citas. Los artículos de la UNAL abordan temas de estrellas y física estelar, galaxias y cosmología, con un grupo de cuatro autores por publicación y una media de citas menor que la de Uniandes, la UIS y la UdeA.

6. Contexto internacional. Para ubicar al país en el contexto mundial examinamos el total de publicaciones y los artículos altamente citados, enfocándonos en los resultados entre 2019 y 2023. La lista de países incluye aquellos con un número igual o superior de publicaciones que Colombia. En el número total de publicaciones destacan Estados Unidos, Alemania e Inglaterra como líderes en publicaciones. Colombia ocupa el puesto 52 a nivel mundial y el quinto en América Latina. Tres artículos con participación colombiana están entre los más citados, todos de 2023 y relacionados con el Dark Energy Spectroscopic Instrument, una colaboración de cosmología observacional.

Esperamos que este trabajo pueda servir como un estímulo y una base sólida para futuras investigaciones. Sería enriquecedor profundizar en el análisis de la colaboración internacional en proyectos astronómicos y su impacto en la producción científica de Colombia. Además, sería valioso investigar cómo las políticas gubernamentales y las estrategias de financiamiento pueden afectar el crecimiento y la calidad de la investigación astronómica en el país. Una línea de investigación prometedora sería explorar el papel de las instituciones educativas y los centros de investigación en la formación de nuevos talentos en astronomía y su contribución al desarrollo continuo del campo en Colombia. Asimismo, sería interesante explorar el potencial de la divulgación científica y la participación pública en actividades astronómicas para fomentar el interés y la comprensión de la ciencia en el país. Estas áreas ofrecen un terreno fértil para futuros investigadores interesados en impulsar y documentar el avance de la astronomía colombiana.

Nuestros resultados muestran que la investigación astronómica en Colombia, a diferencia de varios lugares en el mundo, se concentra casi exclusivamente en las universidades. Esta situación tiene una ventaja significativa: es posible encontrar múltiples oportunidades de colaboración e intercambio interuniversitario que beneficien a todas las personas involucradas en la investigación astronómica en el país. Un primer paso hacia esta colaboración podría ser la creación de una alianza entre las universidades que realizan investigación en astronomía. De esta manera, se podrían optimizar los limitados recursos humanos y económicos disponibles en nuestras instituciones de educación superior.

Agradecimientos

Los autores expresan un sincero agradecimiento a Santiago Vargas, Nelson Padilla y Mario Armando Higuera, cuyos comentarios y sugerencias contribuyeron significativamente a mejorar la versión original de este escrito.

Contribución de los autores

SGM: recolección e integración de datos, cálculos, análisis de los resultados, redacción del artículo. FOF: recolección e integración de datos, cálculos, análisis de los resultados, redacción del artículo. MPSA: revisión de la literatura, redacción del artículo. PN: conceptualización, recolección de datos, revisión de la literatura. JEFR: conceptualización, recolección de datos, revisión de la literatura, análisis de los resultados, redacción del artículo. Todos los autores leyeron y aprobaron la versión final sometida a publicación.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no tienen ningún conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

Referencias

- Aab, A., Abreu, P., Aglietta, M., Albuquerque, I. F. M., Albury, J. M., Allekotte, I., Almela, A., Álvarez Castillo, J., Álvarez-Muñoz, J., Anastasi, G. A., Anchor-Doqui, L., Andrada, B., Andringa, S., Aramo, C., Asorey, H., Assis, P., Avila, G., Badescu, A. M., Bakalova, A., . . . Zuccarello, F. (2019). Probing the origin of ultra-high-energy cosmic rays with neutrinos in the EeV energy range using the Pierre Auger Observatory. *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics*, 2019(10), 022. <https://doi.org/10.1088/1475-7516/2019/10/022>

- Aab, A., Abreu, P., Aglietta, M., Albuquerque, I. F. M., Allekotte, I., Almela, A., Álvarez Castillo, J., Álvarez-Muñiz, J., Anastasi, G. A., Anchordoqui, L., Andrada, B., Andringa, S., Aramo, C., Arsene, N., Asorey, H., Assis, P., Avila, G., Badescu, A. M., Balaceanu, A., . . . Pierre Auger Collaboration.** (2018). An Indication of Anisotropy in Arrival Directions of Ultra-high-energy Cosmic Rays through Comparison to the Flux Pattern of Extragalactic Gamma-Ray Sources. *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics*, 853 (2), Article L29. <https://doi.org/10.3847/2041-8213/aaa66d>
- Abbott, B. P., Abbott, R., Abbott, T. D., Acernese, F., Ackley, K., Adams, C., Adams, T., Addesso, P., Adhikari, R. X., Adya, V. B., Affeldt, C., Afrough, M., Agar-Wal, B., Agathos, M., Agatsuma, K., Aggarwal, N., Aguiar, O. D., Aiello, L., Ain, A., . . . South Africa/MeerKAT SKA.** (2017). Multi-messenger Observations of a Binary Neutron Star Merger. *The Astrophysical Journal Letters*, 848(2), Article L12. <https://doi.org/10.3847/2041-8213/aa91c9>
- Adamo, A., Kruijssen, J., Bastian, N., Silva-Villa, E., Ryon, J.** (2015). Probing the role of the galactic environment in the formation of stellar clusters, using m83 as a test bench. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 452(1), 246-260. <https://doi.org/10.1093/mnras/stv1203>
- Albert, A., André, M., Anghinolfi, M., Ardid, M., Aubert, J., Aublin, J., Avgitas, T., Baret, B., Barrios-Martí, J., Basa, S., Belhorma, B., Bertin, V., Biagi, S., Bormuth, R., Bourret, S., Bouwhuis, M. C., Brañzas, H., Bruijn, R., Brunner, J. . . . Virgo Collaboration.** (2017). Search for High-energy Neutrinos from Binary Neutron Star Merger GW170817 with ANTARES, IceCube, and the Pierre Auger Observatory. *The Astrophysical Journal Letters*, 850(2), Article L35. <https://doi.org/10.3847/2041-8213/aa9aed>
- Arias de Greiff, J.** (1993). *La astronomía en Colombia*. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. <https://repositorio.acefyn.org.co/handle/001/79>
- Belenchia A., Carlesso M., Bayraktar Ö., Dequal D., Derkach I., Gasbarri G., Herr W., Li Y.L., Rademacher M., Sidhu J., Oi D.K.L., Seidel S.T., Kaltenbaek R., Marquardt C., Ulbricht H., Usenko V.C., Wörner L., Xuereb A., Paternostro M., Bassi A.** (2022). Quantum physics in space. *Physics Reports*, 951, 1-70. <https://doi.org/10.1016/j.physrep.2021.11.004>
- Benn, C.R. & Sánchez, S.F.** (2001). Scientific impact of large telescopes. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 113(781), 385. <https://doi.org/10.1086/319325>
- Borne, K. D.** (2010). Astroinformatics: Data-oriented astronomy research and education. *Earth Science Informatics*, 3, 5-17. <https://doi.org/10.1007/s12145-010-0055-2>
- Cárdenas-Avenidaño, A., Vargas-Domínguez, S., Moreno-Cárdenas, F., Calvo-Mozo, B.** (2019). The Educational and Influential Power of the Sun. *Communicating Astronomy with the Public Journal*, 25, 28.
- Casas, R., Arias, V., Peña-Ramírez, K., Kroupa, P.** (2012). Dwarf spheroidal satellites of the Milky Way from dark matter free tidal dwarf galaxy progenitors: Maps of orbits. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 424(3), 1941-1951. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2966.2012.21319.x>
- Castillo, C., Donato, D., Gionis, A.** (2007). Estimating number of citations using author reputation. In N. Ziviani R. Baeza-Yates (Eds.). *String processing and information retrieval* (pp. 107-117). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-75530-2_10
- Cepeda-Peña, W. E.** (2006). *Astronomy for the developing world*. Cambridge University Press, 2(SPS5), pp. 55-58. <https://doi.org/10.1017/S1743921307006709>
- Chang, H.W. & Huang, M.H.** (2013). Prominent institutions in international collaboration network in astronomy and astrophysics. *Scientometrics*, 97, 443-460. <https://doi.org/10.1007/s11192-013-0976-x>
- Chen T.X., Schmitz M., Mazzarella J.M., Wu X., van Eyken J.C., Accomazzi A., Akeson R.L., Allen M., Beaton R., Berriman G.B., Boyle A.W., Brouty M., Chan B.H.P., Christiansen J.L., Ciardi D.R., Cook D., D'Abrusco R., Ebert R., Frayer C., . . . Shin-Ywan W.** (2022). Best practices for data publication in the astronomical literature. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 260(1), 5. <https://doi.org/10.3847/1538-4365/ac6268>
- Clauset, A., Shalizi, C.R., Newman, M.E.J.** (2009). Power-Law Distributions in Empirical Data. *SIAM Review*, 51(4), 661-703. <https://doi.org/10.1137/070710111>
- Cortes, R., Depoortere, D., Malaver, L.** (2018). Astronomy in Chile: Assessment of scientific productivity through a bibliometric analysis. *European Physical Journal Web of Conferences*, 186, Article 05002, 05002. <https://doi.org/10.1051/epjconf/201818605002>

- Crabtree, D. R.** (2014). A bibliometric analysis of observatory publications for the period 2008-2012. In A. B. Peck, C. R. Benn, R. L. Seaman (Eds.), *Observatory operations: Strategies, processes, and systems v* (91490A, Vol. 9149). <https://doi.org/10.1117/12.2054058>
- Evans, J.** (1998). *The history and practice of ancient astronomy*. Oxford University Press.
- Fabian, A.** (2010). The impact of astronomy. *Astronomy & Geophysics*, 51(3), 3-25. <https://doi.org/10.1111/j.1468-4004.2010.51325.x>
- Gieren, W.** (1980). AH Vel - another classical cepheid with a blue companion. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 92, 484-488. <https://doi.org/10.1086/130698>
- Granés, S. J.** (1980). The concepts of space and time in classical physics and special relativity. *Revista Colombiana de Física*, 14(1), 115-151.
- Guy, J., Bailey, S., Kremin, A., Alam, S., Alexander, D.M., Allende Prieto, C., BenZvi, S., Bolton, A.S., Brooks, D., Chaussidon, E., Cooper, A.P., Dawson, K., de la Macorra, A., Dey, A., Dey, B., Dhungana, G., Eisenstein, D. J., Font-Ribera, A., Forero-Romero, J.E., ..., Zou, H.** (2023). The Spectroscopic Data Processing Pipeline for the Dark Energy Spectroscopic Instrument. *The Astronomical Journal*, 165(4), Article 144, 144. <https://doi.org/10.3847/1538-3881/acb212>
- Hahn, C., Wilson, M. J., Ruiz-Macias, O., Cole, S., Weinberg, D.H., Moustakas, J., Kremin, A., Tinker, J.L., Smith, A., Wechsler, R.H., Ahlen, S., Alam, S., Bailey, S., Brooks, D., Cooper, A. P., Davis, T. M., Dawson, K., Dey, A., Dey, B., . . . Zou, H.** (2023). The DESI Bright Galaxy Survey: Final Target Selection, Design, and Validation. *The Astronomical Journal*, 165(6), Article 253, 253. <https://doi.org/10.3847/1538-3881/acff8>
- Higuera-Garzón, M.A.** (2017). Astronomy in Colombia. *Revista Mexicana de Astronomía y Astrofísica Conference Series*, 49, 3-6.
- Hirsch, J. E.** (2005). An index to quantify an individual's scientific research output. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102(46), 16569-16572. <https://doi.org/10.1073/pnas.0507655102>
- Hollyhead, K., Bastian, N., Adamo, A., Silva-Villa, E., Dale, J., Ryon, J., Gazak, Z.** (2015). Studying the ymc population of m83: How long clusters remain embedded, their interaction with the ism and implications for gc formation theories. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 449(1), 1106-1117. <https://doi.org/10.1093/mnras/stv331>
- Iacomino, C.** (2019). Global space exploration landscape: Strategies and programmes. *Springer Briefs in Applied Sciences and Technology*, p. 7-33. https://doi.org/10.1007/978-3-030-15751-7_2
- Kelly, J., Sadeghieh, T., Adeli, K.** (2014). Peer review in scientific publications: Benefits, critiques, & a survival guide. *The electronic Journal of the International Federation of Clinical Chemistry and Laboratory Medicine*, 25(3), 227. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4975196/>
- Koyre, A.** (1943). Galileo and the scientific revolution of the seventeenth century. *The Philosophical Review*, 52(4), 333-348. <https://doi.org/10.2307/2180668>
- Leisman, L., Haynes, M.P., Janowiecki, S., Hallenbeck, G., Jo'zsa, G., Giovanelli, R., Adams, E.A.K., Bernal Neira, D., Cannon, J.M., Janesh, W. F., Rhode, K.L., Salzer, J.J.** (2017). (Almost) Dark Galaxies in the ALFALFA Survey: Isolated H I-bearing Ultra-diffuse Galaxies. *The Astrophysical Journal*, 842(2), Article 133. <https://doi.org/10.3847/1538-4357/aa7575>
- Leitherer, C., Ortiz-Otálvaro, P. A., Bresolin, F., Kudritzki, R.P., Lo Faro, B., Paul-Drach, A.W.A., Pettini, M., Rix, S. A.** (2010). A Library of Theoretical Ultraviolet Spectra of Massive, Hot Stars for Evolutionary Synthesis. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 189(2), 309-335. <https://doi.org/10.1088/0067-0049/189/2/309>
- Libeskind, N.I., Hoffman, Y., Forero-Romero, J., Gottlober, S., Knebe, A., Steinmetz, M., Klypin, A.** (2013). The velocity shear tensor: Tracer of halo alignment. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 428(3), 2489-2499. <https://doi.org/10.1093/mnras/sts216>
- Libeskind, N.I., van de Weygaert, R., Cautun, M., Falck, B., Tempel, E., Abel, T., Al-paslan, M., Aragón-Calvo, M.A., Forero-Romero, J.E., González, R., Gottlöber, S., Hahn, O., Hellwing, W. A., Hoffman, Y., Jones, B.J.T., Kitaura, F., Knebe, A., Manti, S., Neyrinck, M., ..., Yepes, G.** (2018). Tracing the cosmic web. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 473(1), 1195-1217. <https://doi.org/10.1093/mnras/stx1976>
- Mannheim, P. D.** (2006). Alternatives to dark matter and dark energy. *Progress in Particle and Nuclear Physics*, 56(2), 340-445. <https://doi.org/10.1016/j.pnpnp.2005.08.001>
- Matt, S.P., Pinzón, G., de la Reza, R., Greene, T.P.** (2010). Spin evolution of accreting young stars. I. Effect of magnetic star-disk coupling. *The Astrophysical Journal*, 714(2), 989. <https://doi.org/10.1088/0004-637X/714/2/989>

- Matt, S.P., Pinzón, G., Greene, T.P., Pudritz, R.E.** (2012). Spin evolution of accreting young stars. II. Effect of accretion-powered stellar winds. *The Astrophysical Journal*, 745(1), 101. <https://doi.org/10.1088/0004-637X/745/1/101>
- McConnachie, A. W., Ibata, R., Martin, N., Ferguson, A.M.N., Collins, M., Gwyn, S., Irwin, M., Lewis, G. F., Mackey, A.D., Davidge, T., Arias, V., Conn, A., Co'te', P., Crnojevic, D., Huxor, A., Penarrubia, J., Spengler, C., Tanvir, N., Valls-Gabaud, D., . . . Widrow, L.M.** (2018). The Large-scale Structure of the Halo of the Andromeda Galaxy. II. Hierarchical Structure in the Pan-Andromeda Archaeological Survey. *The Astrophysical Journal*, 868(1), Article 55, 55. <https://doi.org/10.3847/1538-4357/aae8e7>
- Mieg, H.A.** (2022). *Science as a profession: And its responsibility*. In *The responsibility of science* (pp. 67–90). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-91597-1_4
- Myers, A. D., Moustakas, J., Bailey, S., Weaver, B. A., Cooper, A. P., Forero-Romero, J.E., Abolfathi, B., Alexander, D. M., Brooks, D., Chaussidon, E., Chuang, C.H., Dawson, K., Dey, A., Dey, B., Dhungana, G., Doel, P., Fanning, K., Gaztanaga, E., Gontcho A Gontcho, S., . . . Zou, H.** (2023). The Target-selection Pipeline for the Dark Energy Spectroscopic Instrument. *The Astronomical Journal*, 165(2), Article 50, 50. <https://doi.org/10.3847/1538-3881/aca5f9>
- Niederhofer, F., Hilker, M., Bastian, N., Silva-Villa, E.** (2015). No evidence for significant age spreads in young massive LMC clusters. *Astronomy & Astrophysics*, 575(A62), 18. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201424455>
- Old, L., Wojtak, R., Mamon, G. A., Skibba, R. A., Pearce, F. R., Croton, D., Bamford, S., Behroozi, P., de Carvalho, R., Muñoz-Cuartas, J. C., Gifford, D., Gray, M. E., von der Linden, A., Merrifield, M. R., Muldrew, S. I., Muller, V., Pearson, R. J., Ponman, T. J., Rozo, E., . . . Tempel, E.** (2015). Galaxy Cluster Mass Reconstruction Project - II. Quantifying scatter and bias using contrasting mock catalogues. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 449(2), 1897-1920. <https://doi.org/10.1093/mnras/stv421>
- Pearce, F.** (2004). Citation measures and impact within astronomy. *Astronomy & Geophysics*, 45(2), 2-15. <https://doi.org/10.1046/j.1468-4004.2003.45215.x>
- Ribeiro, V., Russo, P., Cardenas-Avenidaño, A.** (2013). A survey of astronomical research: An astronomy for development baseline. *The Astronomical Journal*, 146(6), 138-145. <https://doi.org/10.1088/0004-6256/146/6/138>
- Riebe, K., Partl, A.M., Enke, H., Forero-Romero, J., Gottlober, S., Klypin, A., Lemson, G., Prada, F., Primack, J. R., Steinmetz, M., Turchaninov, V.** (2013). The MultiDark Database: Release of the Bolshoi and MultiDark cosmological simulations. *Astronomische Nachrichten*, 334(7), 691-708. <https://doi.org/10.1002/asna.201211900>
- Rodríguez-Ardila, A., Viegas, S. M., Pastoriza, M. G., Prato, L.** (2002). Near-infrared coronal lines in narrow-line seyfert 1 galaxies. *The Astrophysical Journal*, 579(1), 214. <https://doi.org/10.1086/342840>
- Rodríguez-Ardila, A., Prieto, M., Portilla, J., Tejeiro, J.** (2011) The near-infrared coronal line spectrum of 54 nearby active galactic nuclei. *The Astrophysical Journal*, 743(2), 100. <https://doi.org/10.1088/0004-637X/743/2/100>
- Ruiz, M., Lang, R.N., Paschalidis, V., Shapiro, S.L.** (2016). Binary Neutron Star Mergers: A Jet Engine for Short Gamma-Ray Bursts. *The Astrophysical Journal Letters*, 824(1), Article L6. <https://doi.org/10.3847/2041-8205/824/1/L6>
- Tahamtan, I., Safipour-Afshar, A., Ahamdzadeh, K.** (2016). Factors affecting number of citations: A comprehensive review of the literature. *Scientometrics*, 107, 1195-1225. <https://doi.org/10.1007/s11192-016-1889-2>
- Wang, J., Chen, Y., Liu, G., Cheng, W., Yin, T.** (2020). How has Lunar science developed? A bibliometric analysis and systematic review. *Open Astronomy*, 29(1), 251-264. <https://doi.org/10.1515/astro-2020-0023>
- Zhang, Y. & Zhao, Y.** (2015). Astronomy in the big data era. *Data Science Journal*, 14, 1-9. <https://doi.org/10.5334/dsj-2015-011>