

## **El desarrollo de la bioinformática en Argentina: producción científica, colaboración internacional y consolidación de un campo interdisciplinario**

## **The development of bioinformatics in Argentina: scientific production, international collaboration and consolidation of an interdisciplinary field**

ARTÍCULO

**Héctor Gabriel Bazque**

Universidad Nacional de Quilmes, Argentina. Contacto: [hbazque@unq.edu.ar](mailto:hbazque@unq.edu.ar)

**Matías Cerrudo**

Universidad Nacional de Quilmes, Argentina. Contacto: [matias.hugo.cerrudo@unq.edu.ar](mailto:matias.hugo.cerrudo@unq.edu.ar)

*Recibido: mayo de 2026*

*Aceptado: julio de 2026*

### **Resumen**

La bioinformática se ha consolidado durante las últimas décadas como un campo científico interdisciplinario que articula conocimientos provenientes de la biología molecular, la genética, la informática, la matemática aplicada y la estadística para el análisis de grandes volúmenes de información biológica. En este contexto, el presente trabajo tiene por objetivo analizar el proceso de consolidación de la bioinformática en Argentina mediante el estudio bibliométrico de su producción científica visible en revistas internacionales indexadas. Desde una perspectiva exploratoria, se emplean herramientas bibliométricas aplicadas a registros recuperados de la base de datos PubMed para caracterizar la evolución temporal de las publicaciones, las instituciones participantes, las redes de colaboración internacional, la conformación de los equipos de investigación y algunos indicadores de visibilidad científica. Los resultados muestran un crecimiento sostenido de la producción científica argentina desde fines de la década de 1980, acompañado por una creciente diversificación institucional, una expansión de las redes internacionales de colaboración y una mayor presencia de

publicaciones en revistas de amplia circulación internacional. Estos hallazgos sugieren un proceso progresivo de consolidación del campo científico interdisciplinario de la bioinformática en Argentina, caracterizado por el fortalecimiento de capacidades científicas, la formación de comunidades académicas especializadas y una creciente inserción en circuitos internacionales de producción de conocimiento.

El trabajo sostiene que los indicadores bibliométricos constituyen una herramienta útil para analizar determinadas dimensiones del desarrollo científico, aunque representan únicamente una aproximación parcial a procesos más amplios de institucionalización, formación de capacidades y vinculación con el entorno productivo. En consecuencia, se propone interpretar la evolución de la producción científica como una manifestación observable del proceso de consolidación del campo, antes que como una medida exhaustiva de su desarrollo. Finalmente, se señalan líneas de investigación futuras orientadas a incorporar dimensiones institucionales, tecnológicas y de transferencia que permitan profundizar el estudio de la bioinformática en Argentina.

**Palabras claves:** Bioinformática; Bibliometría; Campo científico interdisciplinario.

### Abstract

Bioinformatics has become an interdisciplinary scientific field that integrates molecular biology, genetics, computer science, applied mathematics, and statistics to process and interpret large-scale biological data. This article analyzes the consolidation of bioinformatics in Argentina through a bibliometric study of its scientific production published in internationally indexed journals. An exploratory research design was adopted using bibliometric techniques applied to records retrieved from the PubMed database. The analysis examines publication trends, institutional participation, international collaboration networks, research team composition, and indicators of scientific visibility.

The findings reveal sustained growth in Argentina's scientific output since the late 1980s, together with increasing institutional diversification, expanding international collaboration, and a growing presence in internationally recognized journals. These results suggest the progressive consolidation of bioinformatics as an interdisciplinary scientific field within the Argentine research system, supported by the development of scientific capabilities, specialized research communities, and stronger integration into global scientific networks.

The article argues that bibliometric indicators provide valuable evidence for examining specific dimensions of scientific development, while acknowledging that they capture only part of broader processes of institutionalization, capacity building, and knowledge transfer. Accordingly, scientific publications are interpreted as an observable manifestation of the

consolidation of the field rather than as a comprehensive measure of its overall development. Finally, the paper identifies future research directions aimed at incorporating institutional, technological, and innovation-related dimensions to achieve a more comprehensive understanding of bioinformatics in Argentina.

**Keywords:** Bioinformatics; Bibliometrics; Interdisciplinary scientific field.

## Introducción

Durante las últimas décadas, el acelerado desarrollo de las tecnologías de secuenciación, el incremento exponencial de los datos biológicos disponibles y la expansión de la capacidad de procesamiento computacional favorecieron la consolidación de la bioinformática como un espacio de investigación de creciente importancia para las ciencias de la vida. Este proceso se inscribe en una transformación más amplia de las prácticas científicas, caracterizada por una creciente integración entre biología, informática, matemática, estadística e ingeniería, donde el tratamiento masivo de datos adquiere un papel central para la producción de conocimiento (Gilbert, 1991; Lenoir, 1999; Wooley, 2006).

Si bien existe un amplio consenso respecto de la importancia creciente de la bioinformática, sus límites como disciplina científica continúan siendo objeto de discusión. Diversos autores señalan que la bioinformática constituye un campo científico interdisciplinario cuya identidad se encuentra aún en construcción, resultado de procesos históricos de convergencia entre distintas tradiciones científicas y tecnológicas (Chow-White y García-Sancho, 2011; Stevens, 2013). Desde esta perspectiva, más que una disciplina completamente consolidada, la bioinformática puede entenderse como un campo científico interdisciplinario que articula conocimientos, metodologías y herramientas computacionales orientadas al análisis de información biológica.

Esta discusión resulta especialmente relevante para el análisis de su desarrollo en países periféricos. Como señalan Kreimer y Ferpozzi (2016), la emergencia de nuevos campos científicos en América Latina responde a trayectorias institucionales específicas, atravesadas por las capacidades acumuladas de los sistemas nacionales de ciencia y tecnología, las agendas internacionales de investigación y las dinámicas de cooperación científica. En el caso argentino, la consolidación de la bioinformática se encuentra estrechamente vinculada con el desarrollo previo de la biología molecular, la genómica y la biotecnología, así como con la conformación de redes nacionales e internacionales de investigación (Bassi, González y Parisi, 2007).

Desde una perspectiva económica, la bioinformática adquiere particular interés debido a su potencial inserción dentro de los Servicios Basados en Conocimiento (SBC). Estas actividades constituyen uno de los segmentos más dinámicos del comercio internacional de servicios y representan una oportunidad para países con capacidades científico-tecnológicas relativamente desarrolladas. En particular, la posibilidad de transformar conocimiento científico en desarrollos computacionales, plataformas de análisis, software especializado y servicios intensivos en conocimiento abre un conjunto de oportunidades para fortalecer procesos de innovación y diversificación productiva.

Sin embargo, el desarrollo de estas capacidades no depende exclusivamente del crecimiento de la producción científica. La literatura especializada ha señalado que la consolidación de un campo científico interdisciplinario involucra también la construcción de instituciones, redes de colaboración, capacidades tecnológicas, recursos humanos especializados y mecanismos de articulación con otros actores sociales y productivos (Kreimer, 2011; Hicks et al., 2015). En consecuencia, el análisis de la producción científica constituye únicamente una dimensión posible para aproximarse al estudio de la evolución del campo científico interdisciplinario.

En Argentina, los estudios provenientes de las ciencias sociales sobre el desarrollo de la bioinformática continúan siendo relativamente escasos. Si bien existen antecedentes relevantes que reconstruyen históricamente la conformación del campo y describen algunas de sus principales instituciones y actores (Bassi et al., 2007; Fernández y Ghiringhelli, 2017; Kreimer y Ferpozzi, 2016), aún son limitados los trabajos que procuran caracterizar su evolución mediante indicadores cuantitativos de producción científica y colaboración internacional.

En este contexto, el presente trabajo propone realizar una aproximación exploratoria al desarrollo de la bioinformática en Argentina mediante el análisis de la producción científica registrada en bases de datos internacionales. Específicamente, el objetivo consiste analizar el proceso de consolidación del campo científico interdisciplinario de la bioinformática en Argentina a partir del estudio bibliométrico de su producción científica. Se parte del supuesto de que estos indicadores permiten aproximarse a determinadas dimensiones del proceso de consolidación del campo científico interdisciplinario, aunque no agotan otras dimensiones igualmente relevantes, tales como la transferencia tecnológica, la innovación empresarial o la generación de capacidades productivas.

En consecuencia, el presente trabajo se propone analizar el proceso de consolidación de la bioinformática como campo científico interdisciplinario en Argentina mediante un estudio bibliométrico de su producción científica. Se parte del supuesto de que la evolución de las

publicaciones científicas constituye una manifestación observable de dicho proceso de institucionalización, aunque no agota otras dimensiones igualmente relevantes, tales como la formación de capacidades científicas, el desarrollo tecnológico, la transferencia de conocimiento y la articulación con el sistema productivo.

### **La bioinformática como campo científico interdisciplinario**

El acelerado desarrollo de las ciencias de la vida durante las últimas décadas ha dado lugar a la conformación de nuevos espacios de producción de conocimiento que trascienden las fronteras tradicionales entre disciplinas. Entre ellos, la bioinformática constituye uno de los ejemplos más representativos de convergencia entre la biología molecular, la genética, la informática, la matemática aplicada, la estadística y otras áreas orientadas al procesamiento y análisis de grandes volúmenes de información biológica. Lejos de representar únicamente un conjunto de herramientas computacionales aplicadas a la investigación biológica, la bioinformática ha ido configurándose progresivamente como un campo científico interdisciplinario, cuya consolidación puede analizarse a partir de distintas manifestaciones institucionales, entre ellas la evolución de la producción científica, la conformación de comunidades académicas, la creación de espacios de formación y el desarrollo de redes de colaboración.

La consolidación de este campo científico se encuentra estrechamente vinculada con profundas transformaciones ocurridas en las prácticas contemporáneas de investigación. La reducción de los costos de secuenciación genómica, la automatización de los procedimientos experimentales y la expansión de las capacidades de almacenamiento y procesamiento computacional modificaron radicalmente la escala en la que es posible producir información biológica. Como consecuencia, el principal desafío dejó de ser únicamente la obtención de datos experimentales para desplazarse crecientemente hacia su organización, integración, análisis e interpretación. En este contexto, la bioinformática pasó de desempeñar un papel complementario dentro de las ciencias de la vida a constituirse en un componente estructural de numerosos procesos de investigación.

Desde la historia y la sociología de la ciencia, los nuevos campos científicos son entendidos como procesos de institucionalización antes que como simples consecuencias del desarrollo tecnológico. Se trata de complejos procesos de institucionalización que involucran la conformación de comunidades académicas, la creación de espacios de formación, la definición de agendas de investigación y la construcción de mecanismos de validación científica. En este sentido, Lenoir (1999) interpreta el surgimiento de la bioinformática como

parte del proceso de informatización de las ciencias de la vida, mientras que Stevens (2013) muestra cómo las nuevas tecnologías de secuenciación reconfiguraron las formas de organización del trabajo científico, favoreciendo la constitución de equipos interdisciplinarios y plataformas colaborativas de investigación. Del mismo modo, Chow-White y García-Sancho (2011) sostienen que la producción contemporánea de conocimiento biológico depende crecientemente de infraestructuras digitales, bases de datos compartidas y nuevas modalidades de circulación internacional de la información científica.

En consecuencia, resulta pertinente comprender la bioinformática como un campo científico interdisciplinario cuya identidad no deriva exclusivamente de un objeto de estudio específico, sino de la articulación estable entre saberes, técnicas e infraestructuras provenientes de distintas tradiciones disciplinares. Esta perspectiva permite superar una visión restringida que identifica a la bioinformática únicamente con el desarrollo de software o con la aplicación de algoritmos computacionales a problemas biológicos, reconociendo en cambio su papel como espacio de producción de conocimiento científico.

Este enfoque adquiere particular relevancia cuando se analizan países con trayectorias científicas diferentes a las de los principales centros internacionales de investigación. Diversos trabajos desarrollados desde los estudios sociales de la ciencia en América Latina muestran que la consolidación de nuevos campos científicos depende no sólo de la disponibilidad de tecnologías avanzadas, sino también de las capacidades institucionales previamente acumuladas, de la formación de recursos humanos especializados y de la inserción de los grupos nacionales dentro de redes internacionales de cooperación. Como señala Kreimer (2011), la producción científica en países periféricos debe interpretarse considerando simultáneamente las dinámicas globales de circulación del conocimiento y las condiciones locales de institucionalización de la investigación.

Desde esta perspectiva, la institucionalización de un campo científico puede analizarse mediante distintos indicadores que reflejan la consolidación progresiva de comunidades académicas, agendas de investigación y capacidades científicas. Entre ellos, la evolución de la producción científica constituye una manifestación particularmente relevante, ya que las publicaciones representan uno de los principales mecanismos de validación, circulación y acumulación del conocimiento científico. Si bien este indicador no agota la complejidad del proceso de institucionalización, permite reconstruir tendencias de largo plazo y aproximarse empíricamente a la evolución de un campo científico interdisciplinario.

Desde esta perspectiva, el presente trabajo parte del supuesto de que la evolución de la producción científica constituye una manifestación observable del proceso de institucionalización de la bioinformática como campo científico interdisciplinario. En

consecuencia, los indicadores bibliométricos utilizados no se interpretan como medidas exhaustivas del desarrollo del campo, sino como evidencia empírica que permite reconstruir algunas de sus principales transformaciones organizacionales e institucionales.

### **Antecedentes sobre el desarrollo de la bioinformática en Argentina**

El desarrollo de la bioinformática en Argentina debe comprenderse en el marco de la evolución experimentada por las ciencias biológicas y biomédicas desde fines del siglo XX. A diferencia de otros campos científicos surgidos a partir de la consolidación de una disciplina específica, la bioinformática comenzó a configurarse mediante la convergencia gradual de grupos de investigación provenientes de la biología molecular, la genética, la bioquímica, la biotecnología, la informática y las ciencias exactas. Su institucionalización respondió menos a la creación de nuevas estructuras académicas desde cero que a la articulación progresiva de capacidades científicas previamente existentes. Así, puede mencionarse como referencias la creación de programas de formación de grado y posgrado, la incorporación de asignaturas específicas en carreras vinculadas con las ciencias biológicas y la informática, la conformación de asociaciones científicas especializadas y el desarrollo de redes nacionales de cooperación entre universidades, organismos públicos de investigación y centros tecnológicos. Estos procesos favorecieron la formación de recursos humanos especializados y contribuyeron a la consolidación de una comunidad académica con identidad propia.

Durante las décadas de 1980 y 1990, la incorporación de herramientas computacionales al análisis de secuencias biológicas comenzó a adquirir una importancia creciente como consecuencia de la expansión de las técnicas de secuenciación de ADN y del incremento sostenido de la información genética disponible. Este proceso acompañó transformaciones que también se verificaban a nivel internacional, particularmente a partir del desarrollo del Proyecto Genoma Humano y de la consolidación de grandes bases de datos biológicas de acceso público. En Argentina, estos avances encontraron un sistema científico con capacidades previamente desarrolladas en áreas como la biología molecular, la microbiología, la genética y la bioquímica, lo que favoreció la adopción relativamente temprana de herramientas bioinformáticas por parte de distintos grupos de investigación. Sin embargo, la incorporación de estas herramientas no implicó inmediatamente la conformación de un campo científico diferenciado.

En paralelo, la creciente participación de grupos argentinos en proyectos internacionales permitió ampliar las oportunidades de cooperación científica, acceso a infraestructura tecnológica y circulación de conocimiento especializado. La naturaleza altamente

interdisciplinaria de la bioinformática favoreció además el establecimiento de colaboraciones entre instituciones con perfiles científicos diversos, integrando capacidades provenientes tanto de las ciencias de la vida como de las ciencias de la computación y las matemáticas aplicadas. Como consecuencia, la internacionalización se convirtió en uno de los rasgos distintivos del desarrollo del campo científico en el país.

Diversos trabajos han reconstruido este proceso desde distintas perspectivas. Bassi, González y Parisi (2007) destacan la importancia de las redes de investigación y de la formación de recursos humanos para la consolidación inicial del campo. Posteriormente, Fernández y Ghiringhelli (2017) muestran cómo la expansión de la bioinformática estuvo acompañada por una creciente diversificación institucional y temática, reflejada en la participación de universidades nacionales, organismos públicos de investigación y centros especializados distribuidos en distintas regiones del país. Desde una perspectiva más amplia, Kreimer y Ferpozzi (2016) sostienen que la emergencia de nuevos campos científicos en América Latina debe interpretarse considerando simultáneamente las dinámicas internacionales de producción de conocimiento y las capacidades institucionales construidas por los sistemas nacionales de ciencia y tecnología.

Desde la perspectiva adoptada en este trabajo, estos procesos constituyen manifestaciones institucionales del desarrollo del campo científico, en la medida en que reflejan la estabilización de espacios de formación, mecanismos de reproducción académica, comunidades especializadas y redes permanentes de cooperación. En conjunto, estos elementos permiten interpretar la bioinformática como un campo en proceso de institucionalización y no simplemente como un conjunto de técnicas aplicadas a la investigación biológica.

En este contexto, el análisis bibliométrico desarrollado en el presente trabajo se propone aportar evidencia empírica sobre una dimensión específica de dicho proceso de institucionalización: la evolución de la producción científica argentina en bioinformática y las principales características de sus redes de colaboración internacional. Si bien este enfoque no agota la complejidad del fenómeno, permite identificar tendencias de largo plazo que contribuyen a comprender el proceso de consolidación del campo científico interdisciplinario en Argentina. En consecuencia, este estudio parte del supuesto de que la evolución de la producción científica constituye una manifestación observable del proceso de institucionalización de la bioinformática como campo científico interdisciplinario en Argentina. Sobre esta base, el análisis bibliométrico se utiliza como una estrategia para reconstruir algunas de las principales transformaciones experimentadas por dicho campo durante las últimas décadas.

En este trabajo se entiende por institucionalización el proceso mediante el cual un conjunto de prácticas de investigación, inicialmente dispersas entre distintas disciplinas, adquiere estabilidad organizacional a través de la conformación de comunidades académicas, programas de formación, redes de cooperación, espacios de validación científica e instituciones capaces de reproducir y sostener la actividad de investigación en el tiempo. Desde esta perspectiva, la institucionalización no constituye un estado alcanzado de manera definitiva, sino un proceso dinámico de consolidación de capacidades científicas.

### **Consideraciones metodológicas**

El presente trabajo adopta una estrategia metodológica de carácter exploratorio, basada principalmente en herramientas bibliométricas para analizar la evolución de la producción científica vinculada con la bioinformática en Argentina. La elección de este enfoque responde al objetivo específico del estudio, orientado a caracterizar determinadas dimensiones observables del proceso de consolidación del campo científico interdisciplinario, particularmente aquellas relacionadas con la evolución temporal de las publicaciones, las redes de colaboración entre instituciones y países, y algunos indicadores de visibilidad de dicha producción.

La bibliometría constituye actualmente una de las herramientas más utilizadas para analizar la dinámica de la actividad científica mediante el estudio sistemático de las publicaciones académicas y de la información contenida en sus registros bibliográficos. Su utilización permite reconstruir tendencias históricas, identificar redes de colaboración, caracterizar instituciones participantes y aproximarse a determinados indicadores de circulación del conocimiento científico.

No obstante, los indicadores bibliométricos presentan limitaciones importantes cuando se los utiliza como medida directa del desarrollo científico o de la calidad de la investigación. El Leiden Manifesto y los aportes de Pablo Kreimer advierten que estos indicadores deben complementar, y no sustituir, el análisis cualitativo de los procesos científicos. En consecuencia, los resultados del presente trabajo constituyen una aproximación parcial al proceso de consolidación del campo científico interdisciplinario de la bioinformática.

Para el estudio se utilizó PubMed (NCBI), una de las principales bases internacionales especializadas en ciencias biomédicas y ciencias de la vida. Su cobertura temática, normalización de metadatos y disponibilidad de información sobre autores, afiliaciones y revistas la convierten en una fuente adecuada para análisis bibliométricos reproducibles. Aunque existen otras bases relevantes, PubMed presenta una cobertura particularmente

apropiada para la bioinformática, ya que comprende más de 30 millones de citas de literatura biomédica de MEDLINE, revistas de ciencias de la vida y libros (seleccionada por ser multidisciplinaria y por su visibilidad a nivel internacional).

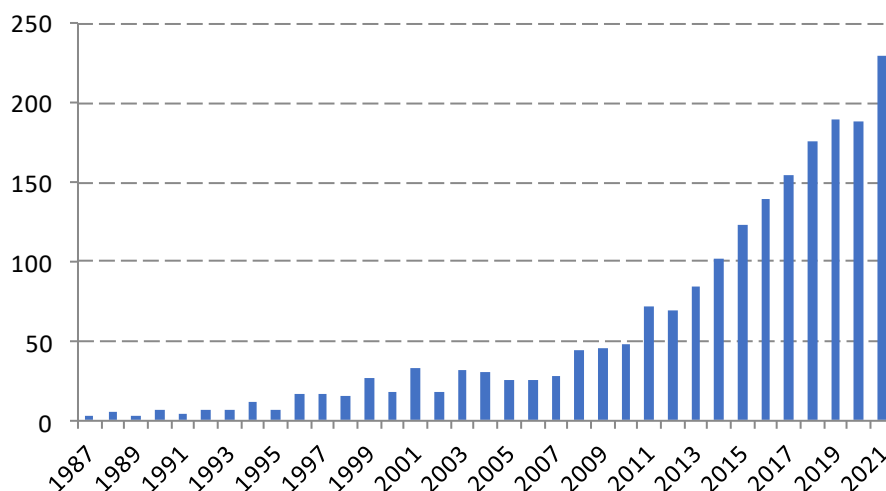
Con el propósito de identificar las contribuciones de los países vinculadas a la bioinformática registradas en la base de datos, se procedió a realizar diferentes búsquedas. Se utilizaron los términos "Bioinformatic" y "Bioinformatics" para buscar en el título y/o resumen de la publicación y "Nombre del país en Inglés" para buscar en afiliación de los autores. Por lo que las búsquedas se realizaron utilizando el siguiente formato: (Bioinformat\*[Title/Abstract]) AND (País[Affiliation]). Se analizaron año de publicación, afiliación institucional, país, colaboración internacional, revista y Journal Impact Factor. La productividad refiere exclusivamente al volumen de publicaciones recuperadas, mientras que el impacto se aproxima mediante el factor de impacto de las revistas. Ninguno de estos indicadores debe interpretarse como una medida directa de calidad científica, innovación o transferencia tecnológica.

El estudio no incorpora software, bases de datos, patentes, desarrollos tecnológicos u otras formas de producción de conocimiento. Asimismo, la participación de investigadores argentinos en publicaciones internacionales no implica necesariamente liderazgo científico ni autonomía tecnológica. Los resultados deben entenderse como una primera aproximación, susceptible de complementarse con entrevistas, análisis institucionales, estudios de redes, transferencia y actividad patentaria.

### **Bioinformática. La vinculación entre grupos de trabajo en el campo científico**

Al buscar (Bioinformat\*[Title/Abstract]) sin la restricción de afiliación se encontraron 59617 resultados totales (publicaciones vinculadas con la bioinformática a nivel mundial) con publicaciones desde 1970 pero donde la mayor concentración de publicaciones se dio en los últimos 10 años (48550 resultados, un 81,4% del total). Al realizar las búsquedas según los países de afiliación de los autores, Argentina presenta 11 publicaciones en la década de los ochenta, 88 en los años noventa, 327 en la primera década del siglo, 1156 entre los años 2010-2019 y 477 publicaciones en los años de pandemia (2020-2022).

**Gráfico 1. Cantidad de publicaciones sobre bioinformática en revistas científicas con participación de científicos argentinos (1988-2021)**



Fuente: PubMed / NCBI

El estudio revela que la producción científica comienza a incrementarse de forma continua a partir del año 2010, donde las prácticas de colaboración, tanto nacional como internacional, han tenido una influencia fuertemente positiva en la productividad y en el impacto alcanzado. En este sentido, se destaca que las prácticas de colaboración de los científicos argentina es sumamente amplia, ya que se registran publicaciones conjuntas con investigadores radicados en laboratorios, institutos y centros de investigación de 98 países; sin embargo, la vinculación se encuentra claramente concentrada en instituciones localizadas en países con mayor grado de desarrollo relativo, donde 10 países representa más de la mitad (65%) de las colaboraciones en bioinformática durante el período 1987-2021. Los países señalados son: EEUU (20,6%), España (8,7%), Alemania (6,8%), Brasil (6,6%), Francia (5,6%), Reino Unido (5,4%), Canadá (3,4%), Italia (3,2%), Australia (2,5%) y China (2,4%).

Al observar la evolución de las producciones sobre bioinformática, que fueron publicadas en las últimas décadas, se destacan tres sub-períodos: uno que va desde los años ochenta hasta mediados de los noventa (1987-1995), donde los científicos argentinos publicaron 50 trabajos sobre bioinformática; otro que abarca la segunda mitad de los noventa y toda la primera década del siglo XXI (1996-2010), donde se publicaron 424 *papers*; y finalmente el que abarca desde 2011 hasta 2021, donde se registra la publicación de 1585 trabajos. Al cruzar esta periodización, según la cantidad de publicaciones, con la localización de las instituciones que participaron de alguna forma en la producción de investigaciones en bioinformática, se advierte que el mayor grado de colaboración (que implicó vinculación con instituciones de ciencia y tecnología extranjeras) se generó entre el 2011 y el 2021.

**Tabla 1. Participación de instituciones de CyT extranjeras en publicaciones sobre bioinformática con presencia de científicos argentinos**

| Período   | USA   | Spain | Germany | Brazil | France  | UK    | Canada | Italy | Australia | China   |
|-----------|-------|-------|---------|--------|---------|-------|--------|-------|-----------|---------|
| 2011-2021 | 99,0% | 97,0% | 100,0%  | 98,5%  | 100,0 % | 99,6% | 100,0% | 98,8% | 100,0%    | 100,0 % |
| 1996-2010 | 1,0%  | 3,0%  | 0,0%    | 1,5%   | 0,0%    | 0,4%  | 0,0%   | 1,2%  | 0,0%      | 0,0%    |
| 1987-1995 | 0,0%  | 0,0%  | 0,0%    | 0,0%   | 0,0%    | 0,0%  | 0,0%   | 0,0%  | 0,0%      | 0,0%    |

Fuente: PubMed / NCBI

En relación a los investigadores, también se incrementó notablemente su participación en la producción científica en temas relacionados con bioinformática, con la misma tendencia señalada anteriormente. Se podría decir que prácticamente se duplicó la cantidad de personas involucradas en trabajos bioinformáticos, pasando de publicaciones de menos de cinco autores (promedio de 4,5) durante el período 1987-1995, a documentos subscritos por casi diez autores (promedio de 9,6) durante el período 2011-2021.

**Tabla 2. Participación de investigadores por publicación sobre bioinformática**

| Período   | Total | %     | Promedio |
|-----------|-------|-------|----------|
| 2011-2021 | 14997 | 84,6% | 9,6      |
| 1996-2010 | 2500  | 14,1% | 5,7      |
| 1987-1995 | 222   | 1,3%  | 4,5      |
| 1987-2021 | 17719 | 100%  | 8,6      |

Fuente: PubMed / NCBI

La distribución de investigadores participantes, según nacionalidad, presenta la misma estructura que observada para el caso de las instituciones participantes, además de la misma tendencia a concentrarse en el período 2011-2021. Es decir, poco más de la mitad (51,9%) de los investigadores participantes representan a 10 nacionalidades: El 11,7% de los autores es norteamericano, el 7,9% proviene de España, 6,1% de Alemania, el 5,8% de Brasil, el 5,4% de Francia, el 3,5% de Reino Unido, el 3,1% de Canadá, el 2,9% de Italia, 2,9% de Australia y el 2,6% de China.

Un último elemento a considerar en un análisis de tipo bibliométrico, es el “factor de impacto” de las revistas dónde publican los científicos bioinformáticos. Este índice nos permite comparar las revistas, según su importancia relativa, que se mide a partir de la cantidad de citas que se registran en un determinado período de tiempo. El factor de impacto constituye un

indicador de la frecuencia promedio con que son citados los artículos publicados por una revista durante un período determinado. En consecuencia, permite aproximarse a la visibilidad y circulación internacional de las publicaciones, aunque no constituye una medida directa de la calidad de los artículos individuales.

Hasta el momento sabemos que se incrementó fuertemente la cantidad de publicaciones en el período 2011-2021, respecto de las décadas anteriores. También hemos encontrado que este proceso fue acompañado o impulsado por una importante vinculación con actores internacionales, lo que permite tanto la participación de investigadores destacados en la temática como el acceso a infraestructura de mayor complejidad tecnológica. Sin embargo, aún no hemos revisado el impacto que tuvo la vinculación sobre la calidad de las producciones sobre bioinformática de los científicos argentinos.

Para el 2012 la firma Thomson Reuters de los EE.UU., que se encarga de analizar la distribución de las publicaciones de acuerdo a su factor de impacto, indicaba que la mayoría de las producciones se concentraban en revistas científicas con un puntaje menor a 3 (37% entre 0.1 y 1, 44% entre 1-3); luego, la tendencia es de notable caída a medida que se avanza en la calidad de las revistas, registrándose un 11% de las publicaciones en revistas de entre 3 y 5 puntos, 5% entre 5 y 10 puntos, un poco más del 1% entre 10 y 20 y menos del 0.5% para las publicaciones con factor de impacto entre 20 y 50 puntos (Kotsias, 2013). A la luz de la distribución de las publicaciones, según el factor de impacto de las revistas, resulta relevante conocer cómo es la calidad de la oferta de revistas científicas. En este sentido, según el nuevo *Journal Citation Report - JCR 2021* publicado por Clarivate Analytic<sup>1</sup> (<https://jcr.clarivate.com/>), que publica un listado con el factor de impacto de todas las revistas científicas (que incluye a todas las ramas de la ciencia), en la actualidad la distribución es relativamente similar a lo indicado por la Thomson Reuters hace 10 años atrás.

**Tabla 3. Distribución de la oferta de revistas científicas, según su factor de impacto**

| Factor de impacto | Cantidad | %     |
|-------------------|----------|-------|
| 1                 | 2052     | 15,8% |
| entre 1 y 3       | 6015     | 46,3% |
| entre 3 y 5       | 2908     | 22,4% |
| entre 5 y 10      | 1537     | 11,8% |
| entre 10 y 20     | 334      | 2,6%  |
| entre 20 y 50     | 114      | 0,9%  |

<sup>1</sup> Institución de mayor reconocimiento por el campo científico para el análisis de factor de impacto de las Revistas especializadas.

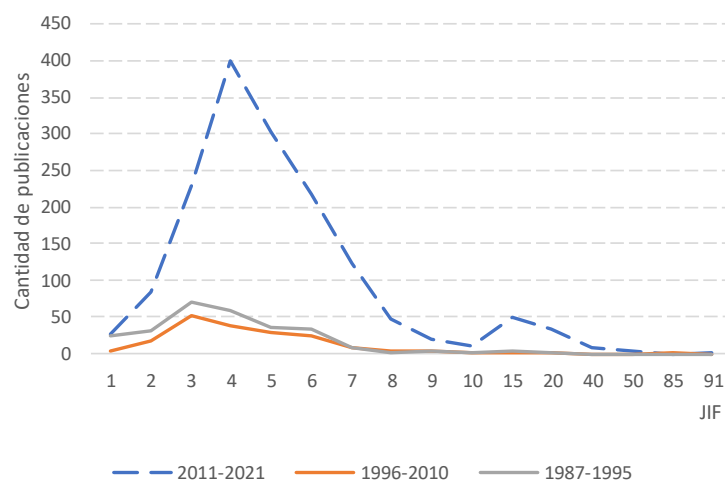
|           |    |      |
|-----------|----|------|
| Más de 50 | 21 | 0,2% |
|-----------|----|------|

Fuente: Clarivate Analytic

En el caso particular de los artículos sobre bioinformática, publicadas por científicos argentinos, se destaca que la colaboración con investigadores, y vinculación con instituciones tecnológicas del exterior resultante de dicha práctica, repercutió positivamente sobre la calidad de las producciones dadas a conocer durante los últimos diez años (período 2011-2021).

Es posible considerar que la incipiente organización de redes nacionales de investigadores especialistas en bioinformática y biología de sistemas resulte un factor importante en la construcción de lazos con agentes del exterior. Según Fernández y Ghiringhelli (2017), durante la década de los noventa y primeros años del nuevo siglo, el sistema científico argentino fue construyendo las condiciones para profundizar su vínculo con el exterior, tanto en materia de equipamiento (como el equipamiento MicroVax instalado en la UNLP con paquete UW-GCG), de capacitación (como el curso internacional de bioinformática CABBIO-ICSU-RELAB-SECyT y la creación de la carrera de grado de bioinformática de la UNER y en la UNQ –donde también se constituyó una maestría-) y creación de asociaciones y redes (como la Argentina-European Molecular Biology network; la Asociación Argentina de Bioinformática y Biología Computacional; la Red Argentino-Cubana de Bioinformática; y los grupos de investigación y desarrollo interinstitucional entre Universidades, INTA y Unidades Ejecutoras del CONICET, entre otra).

**Gráfico 2. Cantidad de publicaciones sobre bioinformática en revistas científicas, según factor de impacto (1987-2021)**



Fuente: PubMed / NCBI

En términos bibliométricos, mientras que durante todo el período que abarca los años entre 1987 y 2010, la mayoría de las publicaciones se concentraban en las revistas con un factor de impacto de 3 puntos; durante los años 2011-2021, los *papers* bioinformáticos se publicaron mayoritariamente en las revistas científicas con un factor de impacto de 4 puntos. Además, se destaca la presencia de las publicaciones de investigadores argentinos en revistas con factor de impacto en niveles superiores; logrando, incluso, publicar un trabajo en una revista con un factor de impacto de 91 puntos, que representa el máximo registro logrado en todo el período analizado. El máximo alcanzado en el período 1996-2010 fue la publicación en una revista con factor de impacto de 85 puntos.

### **La consolidación del campo científico interdisciplinario**

Los resultados obtenidos muestran una expansión sostenida de la producción científica vinculada con la bioinformática desarrollada por investigadores argentinos durante las últimas tres décadas. Si bien las primeras publicaciones aparecen hacia fines de los años ochenta, el crecimiento observado a partir de la segunda década del siglo XXI presenta características que exceden un simple aumento cuantitativo del número de artículos publicados.

Desde la perspectiva adoptada en este trabajo, esta evolución puede interpretarse como un indicador del proceso de consolidación del campo científico interdisciplinario de la bioinformática en Argentina. El incremento simultáneo de publicaciones, instituciones participantes y colaboraciones internacionales sugiere la progresiva estabilización de una comunidad científica especializada capaz de sostener una producción continua y visible en circuitos internacionales de comunicación científica.

La periodización identificada —1987-1995, 1996-2010 y 2011-2021— refleja distintas etapas de este proceso. Mientras que el primer período corresponde a una fase de emergencia del campo, caracterizada por una producción aún incipiente, la segunda evidencia un crecimiento sostenido asociado con la incorporación gradual de nuevos grupos de investigación. Finalmente, durante el período 2011-2021 se observa una expansión significativamente mayor tanto en la cantidad de publicaciones como en la diversidad institucional de los actores participantes, fenómeno compatible con una etapa de consolidación relativa del campo científico interdisciplinario.

En este sentido, los resultados obtenidos resultan consistentes con los antecedentes históricos sobre el desarrollo de la bioinformática en Argentina, los cuales describen un proceso gradual de fortalecimiento institucional basado en la creación de carreras

universitarias, programas de formación especializada, asociaciones científicas y redes nacionales e internacionales de investigación.

### **Internacionalización y redes de colaboración científica**

Uno de los rasgos más significativos identificados por el análisis bibliométrico corresponde a la elevada inserción internacional alcanzada por los grupos argentinos de investigación en bioinformática.

La presencia de colaboraciones con instituciones pertenecientes a noventa y ocho países pone de manifiesto una importante integración dentro de las redes internacionales de producción científica. No obstante, esta distribución presenta un patrón claramente concentrado, dado que la mayor parte de las colaboraciones se establece con instituciones localizadas en Estados Unidos, España, Alemania, Brasil, Francia y Reino Unido.

Desde la perspectiva de los estudios sociales de la ciencia, este comportamiento resulta coherente con la organización internacional contemporánea de la investigación científica. Como ha señalado Kreimer (2011), la inserción de grupos científicos pertenecientes a países periféricos suele estructurarse mediante redes internacionales donde participan instituciones con capacidades tecnológicas diferenciadas. En este contexto, la colaboración internacional constituye simultáneamente una oportunidad para acceder a infraestructura científica de alta complejidad y un mecanismo de circulación del conocimiento dentro de comunidades académicas globales.

En consecuencia, la elevada colaboración internacional observada en la bioinformática argentina no debe interpretarse únicamente como un indicador de productividad científica, sino también como una expresión del proceso de internacionalización del campo científico interdisciplinario y de la creciente inserción de los grupos nacionales en redes internacionales de investigación.

### **Complejización de las prácticas de investigación**

Los resultados también muestran un incremento sostenido en la cantidad promedio de autores por publicación.

Mientras que durante el período 1987-1995 los trabajos incluían, en promedio, menos de cinco investigadores, durante el período 2011-2021 este promedio prácticamente se duplicó.

Lejos de constituir un fenómeno exclusivamente cuantitativo, este comportamiento puede interpretarse como un reflejo de la creciente complejidad organizacional de la investigación bioinformática.

La integración de conocimientos provenientes de distintas disciplinas, la utilización de equipamiento altamente especializado, el procesamiento masivo de datos biológicos y la necesidad de compartir infraestructura tecnológica favorecen el desarrollo de investigaciones realizadas mediante equipos interdisciplinarios de mayor tamaño.

Este resultado coincide con las transformaciones observadas internacionalmente en las ciencias de la vida, donde la producción científica depende crecientemente de formas colaborativas de organización del trabajo científico.

### **Visibilidad internacional de la producción científica**

Finalmente, el análisis de las revistas donde publican los investigadores argentinos permite aproximarse a otra dimensión del proceso de consolidación del campo científico: su visibilidad dentro de los principales circuitos internacionales de comunicación académica.

Los resultados muestran que durante los últimos años aumenta la presencia de publicaciones en revistas con Journal Impact Factor relativamente más elevado respecto de los períodos anteriores. Este comportamiento sugiere una creciente inserción de la producción científica argentina en revistas de mayor circulación internacional.

Sin embargo, resulta necesario interpretar este indicador con cautela. Como se señaló anteriormente, el factor de impacto constituye una medida del comportamiento promedio de las revistas científicas y no una evaluación directa de la visibilidad internacional o relevancia de cada artículo individual. En consecuencia, el análisis realizado permite aproximarse a la visibilidad internacional alcanzada por la producción científica argentina, aunque no constituye por sí mismo un indicador suficiente para evaluar el impacto científico, tecnológico o económico del campo bioinformático.

En conjunto, los resultados obtenidos muestran un proceso sostenido de fortalecimiento del campo científico interdisciplinario de la bioinformática en Argentina, caracterizado por el crecimiento de la producción científica, la expansión de las redes internacionales de colaboración, la creciente complejidad organizacional de las investigaciones y una mayor presencia en revistas científicas de circulación internacional.

### **Discusión**

Los resultados obtenidos permiten avanzar en la comprensión del proceso de desarrollo de la bioinformática en Argentina desde una perspectiva que trasciende la mera descripción bibliométrica de la producción científica. En efecto, el crecimiento sostenido de las publicaciones, la expansión de las redes internacionales de colaboración y la creciente participación de instituciones nacionales en revistas científicas de circulación internacional constituyen evidencias consistentes con un proceso de consolidación progresiva de un campo científico interdisciplinario.

Desde la perspectiva conceptual adoptada en este trabajo, este proceso no debe interpretarse exclusivamente como una consecuencia del incremento en el número de investigaciones realizadas. Más bien, los resultados sugieren la existencia de un proceso de institucionalización caracterizado por la estabilización de comunidades académicas, la incorporación de nuevos investigadores, la consolidación de espacios de formación especializada y la ampliación de las capacidades de cooperación científica tanto a nivel nacional como internacional.

Esta interpretación resulta consistente con los planteos desarrollados por la literatura sobre estudios sociales de la ciencia. Como señala Kreimer (2011), la consolidación de nuevos campos científicos en países periféricos depende tanto de las capacidades construidas localmente como de la inserción de los grupos nacionales dentro de redes internacionales de producción de conocimiento. En este sentido, la elevada colaboración internacional observada en la bioinformática argentina constituye simultáneamente una expresión de la integración alcanzada por los grupos nacionales y una manifestación de las características organizacionales propias de este tipo de investigaciones, donde la complejidad tecnológica favorece la conformación de equipos distribuidos entre distintas instituciones y países.

Al mismo tiempo, los resultados muestran que la evolución de la bioinformática en Argentina presenta características compatibles con las transformaciones más generales observadas en las ciencias de la vida durante las últimas décadas. La creciente complejidad de las investigaciones, reflejada en el aumento del número promedio de autores por publicación, así como la expansión de la producción científica hacia revistas internacionales de mayor circulación, coinciden con procesos de reorganización del trabajo científico previamente identificados por Lenoir (1999), Stevens (2013) y Chow-White y García-Sancho (2011). De esta manera, el caso argentino parece reproducir, con las particularidades propias de su sistema científico, tendencias que también han sido documentadas en otros contextos nacionales.

No obstante, el análisis realizado también pone de manifiesto algunas limitaciones inherentes al enfoque bibliométrico adoptado. Como se señaló en la sección metodológica, el volumen de publicaciones constituye únicamente una de las múltiples dimensiones que intervienen en el proceso de consolidación de un campo científico. La producción de software especializado, el desarrollo de plataformas bioinformáticas, la formación de recursos humanos, la creación de empresas de base tecnológica, la generación de patentes y la transferencia de conocimiento hacia el sistema productivo representan dimensiones igualmente relevantes que exceden el alcance del presente estudio.

En consecuencia, los resultados aquí presentados deben interpretarse como una aproximación parcial al proceso de institucionalización de la bioinformática en Argentina. Su principal aporte consiste en ofrecer evidencia empírica sistematizada sobre la evolución de la producción científica y las redes internacionales de colaboración, proporcionando una base sólida para futuras investigaciones que incorporen dimensiones organizacionales, tecnológicas y económicas complementarias.

### **Reflexiones finales**

El presente trabajo se propuso analizar el proceso de institucionalización de la bioinformática como campo científico interdisciplinario en Argentina mediante un estudio bibliométrico de la evolución de su producción científica. Los resultados obtenidos muestran un crecimiento sostenido de las publicaciones científicas, una progresiva ampliación de las redes internacionales de colaboración y una creciente inserción de investigadores argentinos en revistas científicas de circulación internacional.

Estos resultados permiten sostener que la bioinformática ha experimentado un proceso significativo de consolidación dentro del sistema científico argentino. Sin embargo, dicha consolidación no debe interpretarse únicamente como un incremento cuantitativo de la producción científica. La evidencia analizada sugiere la conformación progresiva de capacidades institucionales, redes de cooperación y comunidades académicas especializadas que constituyen elementos centrales para el desarrollo del campo científico interdisciplinario.

Al mismo tiempo, el estudio pone de manifiesto la utilidad de los indicadores bibliométricos para reconstruir tendencias de largo plazo y caracterizar procesos de institucionalización científica. No obstante, también confirma la necesidad de interpretar dichos indicadores dentro de un marco conceptual más amplio que reconozca las limitaciones propias de este tipo de aproximaciones. La producción científica representa una dimensión fundamental del desarrollo de un campo científico, aunque no constituye por sí sola una

medida suficiente de su capacidad de innovación, transferencia tecnológica o impacto económico y social.

En este sentido, una de las principales contribuciones del presente trabajo consiste en proponer una lectura de la bioinformática que la entiende como un campo científico interdisciplinario en permanente construcción institucional. Desde esta perspectiva, el análisis bibliométrico deja de constituir un simple ejercicio descriptivo para convertirse en una herramienta destinada a comprender determinados aspectos de la evolución de dicho proceso.

Finalmente, los resultados obtenidos abren nuevas líneas de investigación para profundizar el conocimiento sobre el desarrollo de la bioinformática en Argentina. Entre ellas pueden mencionarse el estudio de las trayectorias institucionales de los principales grupos de investigación, el análisis de las políticas públicas orientadas al fortalecimiento del campo, la evolución de la formación de recursos humanos especializados, las estrategias de vinculación tecnológica con el sector productivo y la emergencia de empresas intensivas en conocimiento asociadas al desarrollo bioinformático. La integración de estas dimensiones permitirá construir una comprensión más completa de los procesos de institucionalización e innovación que caracterizan a este campo científico interdisciplinario.

## Referencias bibliográficas

- Arencibia *et al* (2008). La evaluación de la investigación científica: una aproximación teórica desde la Cienciometría. *Acimed*, 27(4), 1-27. Recuperado de: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1024-94352008000400004](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1024-94352008000400004)
- Batista *et al* (2018). Análisis bibliométrico de la producción científica de la Universidad de Camagüey registrada en Scopus y WoS. *Ciencias de la Información*; 49(1), 10-18. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.11959/brapci/170758>
- Bassi, S., González, V., y Parisi, G. (2007). Computational Biology in Argentina. *PLoS Computational Biology*, 3(12), e257. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.0030257>
- Chow-White, P., & García-Sancho, M. (Eds.). (2011). *Bidirectional Shaping of Science and Society: The Co-Production of Genomic Knowledge and Social Order*. London: Routledge.
- Dorta Contreras, A. (2006). En defensa de nuestra producción científica. *ACIMED* 14(3). Recuperado de: [http://bvs.sld.cu/revistas/aci/vol14\\_3\\_06/aci15306.htm](http://bvs.sld.cu/revistas/aci/vol14_3_06/aci15306.htm)
- etcGORUP (2011). *¿Quién controlará la economía verde?* Comunicado No. 107 del Grupo ETC.

Fernández, G. y Ghiringhelli, D. (2017). La Bioinformática y la Biología de Sistemas. *Revista Divulgatio. Perfiles académicos de posgrado*. DOI: <https://doi.org/10.48160/25913530di02.30>

Hicks, D., Wouters, P., Waltman, L., De Rijcke, S., & Rafols, I. (2015). Bibliometrics: The Leiden Manifesto for research metrics. *Nature*, 520(7548), 429–431. DOI: <https://doi.org/10.1038/520429a>

Kotsias, B (2013). Las publicaciones científicas argentinas. *Medicina (Buenos Aires)* 73(6). Recuperado de: [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0025-76802013000800018](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0025-76802013000800018)

Kreimer, P., y Ferpozzi, H. (2016). De Milstein a la bioinformática. Emergencia y desarrollo de la Biología Molecular en la Argentina. En P. Kreimer (Ed.). *Contra viento y marea. Emergencia y desarrollo de campos científicos en la periferia* (pp. 59-102). CLACSO.

Kreimer, P. (2011). *La ciencia como objeto de las ciencias sociales en América Latina*. Buenos Aires: Siglo XXI.

Lenoir, T. (1999). *Shaping Biomedicine as an Information Science*. Stanford: Stanford University Press.

Stevens, H. (2013). *Life Out of Sequence: A Data-Driven History of Bioinformatics*. Chicago: University of Chicago Press.