

BIOLOGÍA COMPUTACIONAL Y BIOINFORMÁTICA: CONSTRUYENDO LA BIOLOGÍA DEL SIGLO XXI

*Ana M. Rojas Mendoza**

*Computational Biology and Bioinformatics Group
Centro Andaluz de Biología del Desarrollo (CABD-CSIC).*

RESUMEN

En las últimas décadas, la biología se ha transformado en una ciencia cada vez más cuantitativa, obligada a enfrentarse a volúmenes de datos y niveles de complejidad sin precedentes. Ante este cambio, la Biología Computacional y la Bioinformática no surgen como disciplinas nuevas, sino como campos plenamente maduros, con una trayectoria consolidada y con investigadores de reconocido prestigio internacional. Estas disciplinas constituyen hoy los pilares que permiten a la biología adaptarse y avanzar, al ser las únicas capaces de integrar de forma rigurosa el conocimiento biológico con herramientas matemáticas y computacionales, así como con las técnicas emergentes de inteligencia artificial. El artículo presenta la “Conexión BCB” (<https://conexion-bcb.csic.es/>) del CSIC como una iniciativa que articula y visibiliza esta comunidad científica en España, fomentando la colaboración, la formación y la proyección internacional. A través de esta red, se está construyendo una nueva manera de hacer biología, alineada con los grandes retos científicos y sociales del siglo XXI.

1. INTRODUCCIÓN

En las primeras décadas del siglo XXI, la biología ha experimentado una transformación profunda, convirtiéndose en una ciencia cada vez más cuantitativa. La generación masiva de datos, el desarrollo de nuevas tecnologías experimentales y el estudio de sistemas biológicos altamente complejos han cambiado de forma irreversible la manera de investigar. Este nuevo escenario plantea retos científicos, tecnológicos y sociales sin precedentes, que exigen enfoques capaces de integrar datos, modelos y conocimiento de manera coherente.

En este contexto, la Biología Computacional y la Bioinformática no surgen como disciplinas nuevas, sino como campos plenamente consolidados que han acompañado esta transformación desde sus inicios. Con una trayectoria sólida y una comunidad científica de alto nivel internacional, estas disciplinas constituyen hoy un pilar estructural de la biología moderna y resultan esenciales para alinear el conocimiento biológico con herramientas matemáticas y computacionales, así como con las técnicas emergentes de inteligencia artificial.

2. BIOLOGÍA COMPUTACIONAL Y BIOINFORMÁTICA

Durante años, la Biología Computacional y la Bioinformática se han percibido como áreas de apoyo a la investigación experimental, periféricas pero accesorias. Sin embargo, la magnitud y complejidad de los datos actuales han situado a estas disciplinas en el centro de la producción de

* En representación de la Conexión de Bioinformática y Biología Computacional del CSIC.

conocimiento, como evidencian varios reconocimientos Nobel: el de 2013 a Karplus, Levitt y Warshel por el uso de modelos computacionales; el de 2018 a Frances Arnold por la evolución dirigida de enzimas; o el más reciente en 2024 a Jumper, Hassabis y Baker por los métodos computacionales de predicción de estructuras y diseño de proteínas.

La Bioinformática se ocupa del desarrollo de métodos, algoritmos y software para gestionar, analizar e interpretar datos biológicos a gran escala, mientras que la Biología Computacional adopta un enfoque integrador y predictivo basado en el modelado matemático y la simulación. Comparten una raíz común, el uso intensivo de la computación para abordar problemas biológicos, pero lo hacen con perfiles complementarios. Por lo tanto, ambas disciplinas se solapan y se refuerzan mutuamente, permitiendo formular hipótesis, generar predicciones y explorar escenarios que serían inaccesibles desde aproximaciones puramente experimentales.

Su madurez queda reflejada tanto en el reconocimiento internacional de sus contribuciones como en su papel clave en ámbitos como la biomedicina, la biotecnología, la biología estructural, la biología de sistemas o la inteligencia artificial aplicada a la biología.

3. LA COMUNIDAD BCB EN ESPAÑA: ORIGEN Y DIMENSIÓN

En España, y especialmente dentro del CSIC, la distribución histórica de estas disciplinas ha sido dispersa, sin una estructura real que facilite la consolidación de ambas.

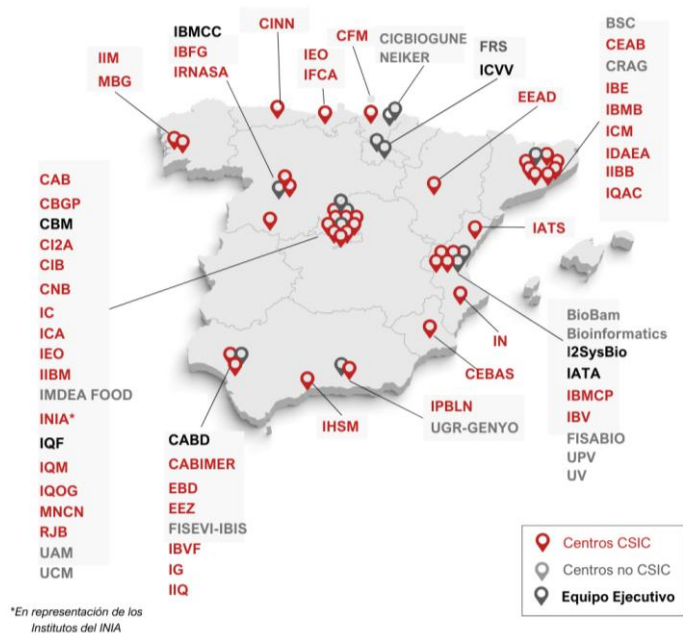


Figura 1. Centros representados al inicio de la conexión. En rojo lo centros propios del CSIC, en gris lo no-CSIC, y en negro los centros cuyos miembros pertenecen al comité ejecutivo.

Aunque existen iniciativas previas fuera de la institución, como el Instituto Nacional de Bioinformática (INB) que ha tenido impacto internacional al representar parte de la investigación en la materia a nivel europeo, es indiscutible la necesidad de vertebrar todo el conocimiento disponible en el país para maximizar el impacto de este conocimiento.

Para conseguir estos objetivos, esta acción se articula a través de la “Conexión BCB” (en adelante, *HubBCB*), una iniciativa impulsada por el CSIC para cohesionar una comunidad científica diversa y distribuida. El *HubBCB* reúne a investigadores de numerosos centros y universidades, integrando tanto grupos consolidados como una activa red de jóvenes científicos (*Junior HubBCB*) que representan el futuro del campo.

Esta comunidad se caracteriza por su diversidad disciplinar, institucional y geográfica (véase la figura 1), así como por una fuerte cultura colaborativa. El *HubBCB* agrupa a más de 400 investigadores distribuidos en 220 grupos, en más de 82 centros de distintas comunidades autónomas. El ecosistema incluye tanto centros y grupos del propio CSIC como grupos externos (17), creando un entramado multidisciplinar en el que conviven líneas de trabajo que van desde la modelización de sistemas biológicos hasta el desarrollo de algoritmos para el análisis de datos ómicos. Esta diversidad no es solo cuantitativa, sino también cualitativa, y se traduce en múltiples enfoques metodológicos y aplicaciones que enriquecen la investigación y su dimensión.

La articulación en red ha permitido superar la fragmentación histórica del campo, mejorar la visibilidad de las capacidades existentes y facilitar la puesta en marcha de proyectos conjuntos a escala nacional e internacional.

4. ORGANIZACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DEL HUBBCB

El *HubBCB* se estructura en ocho comisiones de trabajo dedicadas a evaluar e implementar acciones relevantes para aspectos estratégicos de la red, como la excelencia, formación, entre otros. También se han constituido grupos temáticos o comunidades de interés que se centran en ciertas áreas específicas del campo, como por ejemplo desarrollo de herramientas, técnicas -ómicas, etc.

Estas estructuras permiten una *gobernanza flexible*, participativa y adaptativa que además facilitan la identificación de prioridades estratégicas, la coordinación de actividades y la implicación activa de todos los miembros de la comunidad. En particular, esta organización se sostiene sobre una cultura fuertemente colaborativa: el *HubBCB* impulsa la participación de sus miembros en proyectos conjuntos (por ejemplo, los EOSC-OSCARS), la coautoría de publicaciones y la organización de congresos y encuentros científicos (ejemplos son el primer Congreso de la SEBiBC, ISMB/ECCB2025, las Jornadas de Bioinformática JBI 2025), al tiempo que fomenta la presencia de sus miembros en redes internacionales (ELIXIR, INSTRUCT, diversas MSCA-DN).

El *HubBCB* ha prestado especial atención al apoyo técnico y a la acogida de nuevos miembros. Para quienes se incorporan desde otras disciplinas o desde otros países, el paquete de bienvenida explica cómo acceder a infraestructuras, servicios y recursos del CSIC y presenta la figura de un mentor que orienta en los primeros pasos, ayuda a navegar la complejidad institucional y acelera la integración. Además, se han impulsado acciones de reivindicación institucional para la creación de nuevas plazas de técnicos especializados en software y hardware, conscientes de que el soporte técnico es un elemento crítico para mantener el ritmo de desarrollo de la ciencia.

5. VISIÓN, ACTIVIDADES Y PROGRAMAS ESTRATÉGICOS

La comunidad BCB ha entendido desde el principio que su futuro depende de una combinación equilibrada de formación sólida, mentoría activa y voluntad de compartir la ciencia con el conjunto de la sociedad. En el ámbito de la Biología Computacional y la Bioinformática, esta combinación se vuelve especialmente crucial, dado el ritmo acelerado al que avanzan las tecnologías, los métodos y las preguntas de investigación.

Por lo tanto, uno de los primeros objetivos ha sido el *tejer una auténtica red nacional* en la que compartir competencias, recursos y proyectos. Uno de los primeros desafíos ha sido *cohesionar la comunidad* mediante la identificación de fortalezas y la visibilización de sus investigadores. Este esfuerzo inicial ha permitido mapear las capacidades y detectar tanto nichos consolidados como áreas con necesidad de refuerzo, creando una base sólida para la colaboración, con el fin de garantizar que el conocimiento no se quede estancado y pueda convertirse en innovación y utilidad práctica. Sin embargo, la cohesión por sí sola no basta si no se traduce en una oferta de valor. Por eso, el *HubBCB* se ha propuesto ofrecer servicios, software y conocimientos que respondan a las demandas reales de la ciencia y de la industria.

Entre las acciones impulsadas por el *HubBCB* destacan actividades han contribuido a fortalecer las capacidades científicas, facilitar el intercambio de conocimientos y fomentar la excelencia. Estas acciones son:

Formación continua, que es imprescindible. Por ello, el *HubBCB* organiza de manera regular cursos, seminarios y talleres prácticos que abordan desde herramientas bioinformáticas desarrolladas

dentro de la propia red hasta tendencias emergentes en análisis de datos, inteligencia artificial o modelado de sistemas.

La movilidad y el intercambio completan esta estrategia. Los programas de estancias, tanto en centros nacionales como internacionales, permiten que investigadores y estudiantes amplíen su visión, adquieran nuevas competencias y establezcan lazos duraderos. En particular, el *programa de estancias de valorización* ha facilitado más de 5 intercambios entre grupos del HubBCB y las 9 ayudas a la participación en congresos internacionales han permitido que jóvenes investigadores asistan a eventos clave, dando visibilidad a su trabajo y abriendo puertas a futuras colaboraciones.

El HubBCB presta especial atención al desarrollo y *retención del talento*, especialmente en las primeras etapas de la carrera investigadora. A través de programas específicos, se favorece la incorporación de estudiantes y jóvenes investigadores a entornos de investigación punteros y se promueve una cultura de colaboración y aprendizaje compartido.

La internacionalización es un eje prioritario por su impacto tanto en la visibilidad como en la excelencia. Así pues, la internacionalización de la atracción ha ocupado un lugar central, con iniciativas como el programa ATRAE-HubBCB, que ha conectado a una veintena de investigadores internacionales con potenciales centros de incorporación en el CSIC; mientras que la internacionalización de los miembros de la red mediante participación en sociedades, comisiones, redes y foros internacionales, así como el liderazgo en áreas estratégicas como la inteligencia artificial aplicada a la biología, la biomedicina personalizada o la sostenibilidad ambiental, son componentes esenciales de la visión global de la red.

Por último, la organización de jornadas dedicadas a la presentación de *casos de éxito*, tanto en proyectos internacionales como en iniciativas de gran financiación, ha permitido compartir aprendizajes, analizar factores clave y ofrecer modelos de referencia para otros grupos.

6. MAPEO DE COMPETENCIAS, PRESENCIA DIGITAL E INFRAESTRUCTURAS COMPARTIDAS

Siendo la *información un recurso estratégico*, una iniciativa fundamental ha sido el mapeo de competencias, implementado en el desarrollo de un portal digital que sirva como punto de encuentro y referencia para toda la comunidad. Esta herramienta fue concebida como un instrumento para identificar

y visibilizar capacidades científicas, técnicas y tecnológicas para facilitar la colaboración entre grupos, la captación de talento, la planificación estratégica y la interacción con otros sectores, convirtiéndose en un espacio clave para la proyección externa de la comunidad.

El portal web del HubBCB (<https://bcbhub.csic.es/>) actúa como una infraestructura vertebradora, ofreciendo un punto de acceso común a información sobre personas, proyectos, herramientas, servicios y oportunidades. Asimismo, HubBCB impulsa la federación de infraestructuras y el refuerzo del soporte técnico, promoviendo un uso más eficiente y sostenible de los recursos y favoreciendo el desarrollo de una ciencia abierta y reproducible. El mapeo de



Figura 2. Página de inicio del portal de mapeo del HubBCB (Febrero de 2026). <https://bcbhub.csic.es/>

competencias es, por definición, *un proceso dinámico*. Cada nueva incorporación de investigadores, la aparición de tecnologías emergentes o el lanzamiento de proyectos innovadores modifican el ecosistema. Por ese motivo, el *HubBCB* ha apostado por la actualización constante de su catálogo, incorporando tanto nuevos recursos humanos como desarrollos tecnológicos y registrando necesidades emergentes.

El *impacto de este mapeo* se extiende también a la captación de talento, a la planificación de la investigación y a la toma de decisiones en política científica. Los nuevos miembros de la comunidad pueden identificar con rapidez mentores, grupos afines y oportunidades de formación; las empresas y otras instituciones pueden localizar nodos de excelencia para la colaboración y la transferencia de tecnología; y los responsables de políticas científicas disponen de una cartografía rigurosa que les ayuda a orientar inversiones, diseñar programas de apoyo y anticipar nichos de especialización.

En definitiva, el mapeo de competencias se ha convertido en una de las piedras angulares sobre las que se construye la comunidad BCB en España, permitiendo pasar de la dispersión a la cohesión, de la intuición a la estrategia y de la competencia aislada a la colaboración efectiva.

La *presencia digital es fundamental*. La presencia de *HubBCB* tanto el portal, como los blogs especializados, las redes sociales y la producción de vídeos y otros contenidos en línea han multiplicado el alcance de la comunidad, permitiendo que la información fluya de manera ágil y transparente tanto entre investigadores como hacia la ciudadanía.

7. FORMACIÓN, DIVULGACIÓN Y CONEXIÓN CON LA SOCIEDAD

La formación y la divulgación es un motor estratégico central en el *HubBCB*. La comunidad *ha impulsado una oferta formativa diversa* que incluye cursos especializados, micro-credenciales, seminarios temáticos dedicados a problemas concretos y talleres prácticos sobre herramientas y metodologías de última generación. Estos espacios formativos, en muchos casos gratuitos o de bajo coste, permiten que investigadores de todos los niveles, desde estudiantes hasta líderes de grupo, se actualicen.

Entre las iniciativas más destacadas se encuentra el programa de becas *JAE-Intro HubBCB*, que brinda a estudiantes universitarios la oportunidad de integrarse en laboratorios punteros. Esta experiencia resulta especialmente enriquecedora porque, por un lado, acerca a los jóvenes al funcionamiento real de la investigación en la frontera entre biología y computación y, por otro, introduce nuevas ideas y perspectivas en grupos consolidados. Cabe destacar que la relación con universidades y centros educativos se ha ido intensificando, y en la actualidad existen en España veintisiete titulaciones de grado y máster relacionadas con la bioinformática y la biología computacional, distribuidas en diez comunidades autónomas.

El *HubBCB* ha contribuido a *fomentar dobles titulaciones e itinerarios interdisciplinares*, así como a la *actualización de programas formativos* para alinearlos con las necesidades reales del sistema científico y de la industria. El crecimiento de la comunidad ha dado lugar también a la creación del *Junior-HubBCB*, un espacio que agrupa a estudiantes de grado, becarios, predoctorales y postdoctorales. Esta red funciona como plataforma para el intercambio de experiencias, el *networking* y el acceso a oportunidades de formación y financiación específicas para jóvenes investigadores. Programas como “Adopta un bioinformático” y los esquemas de *peer-coaching* han institucionalizado la mentoría, de modo que los científicos con más experiencia acompañan a los más jóvenes, facilitando su integración, guiándolos en la toma de decisiones y ayudándoles a sortear los desafíos de los primeros años de carrera. De esta manera, el relevo generacional se convierte en un proceso fluido, sin rupturas ni pérdida de talento.

Paralelamente, el *HubBCB* mantiene una agenda muy activa de *divulgación científica* con numerosas contribuciones acercando la Biología Computacional y la Bioinformática a la sociedad y

contribuyendo a generar una comprensión más informada de su impacto en ámbitos como la salud, el medio ambiente o la innovación tecnológica.

Sus miembros participan activamente en *actividades de difusión* que incluyen contribuciones en formato charlas en colegios e institutos, programas de promoción de la ciencia en barrios desfavorecidos (Ciencia en el Barrio), talleres abiertos, artículos en medios de comunicación, colaboraciones en radio y televisión, así como la producción de materiales audiovisuales y contenidos digitales de acceso abierto. Iniciativas como la Feria de la Ciencia, “Pint of Science”, o la Noche Europea de los Investigadores ejemplifican la implicación de los miembros del *HubBCB* en la tarea de acercar conceptos complejos, como el análisis de datos ómicos o la simulación de proteínas, a públicos de todas las edades y niveles de formación. Estas actividades no solo inspiran nuevas vocaciones científicas, sino que también contribuyen a generar confianza en la investigación, a desmontar prejuicios y a reforzar el vínculo entre ciencia y sociedad.

8. RETOS Y PERSPECTIVAS DE FUTURO

La trayectoria de la Conexión entre Biología Computacional y Bioinformática en España puede leerse como una *historia de éxito colectivo*, pero también como una travesía en un entorno exigente y cambiante. La competencia internacional se intensifica, las tecnologías evolucionan a un ritmo vertiginoso y las necesidades sociales, biomédicas y medioambientales demandan respuestas rápidas, precisas y coordinadas. En este contexto, la comunidad BCB se enfrenta a una serie de desafíos que marcarán su futuro a corto y medio plazo.

Por un lado, es imperativo *garantizar una financiación estable* y suficiente para mantener los objetivos alcanzados, tanto como crucial asegurar el mantenimiento y la actualización de infraestructuras, el desarrollo de nuevo software, la formación de personal técnico y la sostenibilidad de la red de coordinación por parte de la institución. Por otro lado, la cohesión interna representa otro desafío relevante debido a que el ecosistema BCB es, por definición, diverso y geográficamente disperso.

A ello se suma el reto permanente de la *actualización tecnológica*. La Biología Computacional y la Bioinformática están en continua transformación, *impulsadas por avances en inteligencia artificial*, análisis masivo de datos, biología sintética y otras áreas emergentes. Adaptarse a estos cambios, y aspirar incluso a liderarlos, implica invertir en formación, en nuevas líneas de investigación y en la renovación de equipos e infraestructuras.

Afrontar estos desafíos es esencial para mantener la competitividad y el liderazgo internacional. Mirando al futuro, la consolidación del *HubBCB* como una estructura estable representa una oportunidad estratégica para situar a España en la vanguardia de la Biología Computacional y la Bioinformática, especialmente en un contexto marcado por la creciente integración con la inteligencia artificial.

9. CONCLUSIÓN

La Biología Computacional y la Bioinformática se han consolidado como disciplinas con identidad y espacio propios dentro del panorama científico. El camino recorrido ha sido ejemplar, pero los retos del futuro exigen una ambición aún mayor y un compromiso sostenido en el tiempo. Solo una apuesta decidida, tanto desde las instituciones como desde la propia comunidad científica y la sociedad, permitirá que la Biología Computacional y la Bioinformática continúen creciendo, innovando y transformando nuestra manera de generar y abordar el conocimiento.

Hoy, estas disciplinas constituyen pilares fundamentales para comprender y afrontar los grandes desafíos de la biología del siglo XXI. La experiencia del *HubBCB* demuestra que la articulación comunitaria y la colaboración organizada multiplican el impacto científico y social. Reforzar y dar

continuidad a esta iniciativa representa una apuesta estratégica por el conocimiento, la innovación y el futuro del sistema científico español.

Agradecimientos

Es muy importante resaltar, que las actividades de esta red no serían posibles sin una gestión eficiente que permita implementar las acciones alineadas con el contexto administrativo del CSIC, por lo que la adición al comité ejecutivo de gestores o gestoras es imperativa para la consecución exitosa de los objetivos. En este contexto, desde la conexión queremos agradecer particularmente a Ana Barra Ahijado, por su eficiencia y profesionalidad.