

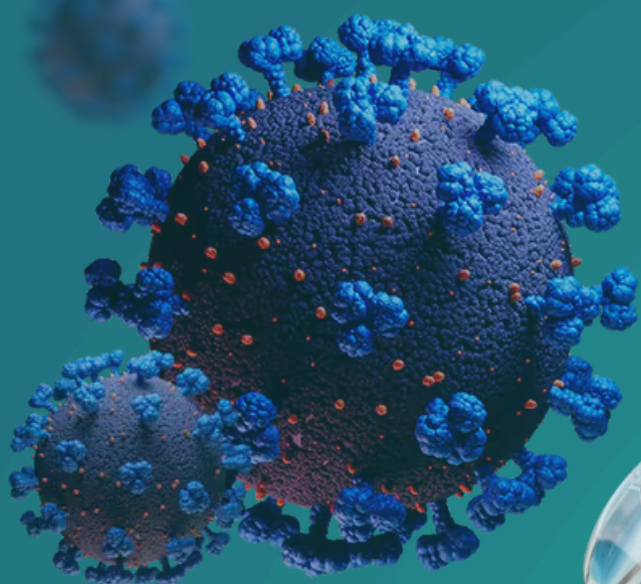


ESPACIO QUÍMICO
RADAR FARMACÉUTICO

VIGILANCIA TECNOLÓGICA

Desarrollo de nuevas
plataformas de vacunas

ARNm



La presente publicación es resultado de un esfuerzo colaborativo entre la Fundación Innovación y Ciencia para el Desarrollo Empresarial (INCIDE) y el Instituto de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), a través del Observatorio Tecnológico Espacio Químico Radar Farma. El presente estudio de vigilancia tecnológica ofrece una visión integral del panorama global en torno a las vacunas basadas en ARNm, una plataforma que ha transformado el desarrollo inmunológico en los últimos años. Se analizan tres ejes fundamentales: el comportamiento de las patentes, la evolución de los ensayos clínicos y las redes de colaboración interinstitucional.

Esta vigilancia permite entender el estado del arte, identificar oportunidades estratégicas de vinculación y anticipar nuevas aplicaciones biomédicas del ARNm en salud global.

Este trabajo fue coordinado y editado por Luis Gerardo Villafaña Díaz y Alejandro Carlos Farías Zúñiga de Fundación INCIDE, Marcela Castillo Figa del Instituto de Química UNAM y Guillermo Roura de la Universidad Iberoamericana, quienes integran conocimiento técnico, visión estratégica y experiencia en vinculación tecnológica, con el objetivo de posicionar a México como un actor relevante en el ecosistema internacional de salud e innovación terapéutica.

Agradecemos el respaldo institucional del Instituto de Química de la UNAM y de las empresas asociadas a Fundación INCIDE, cuyo compromiso con la ciencia y la innovación ha sido esencial para hacer posible este esfuerzo colectivo.



Contenido

METODOLOGÍA	3
PROSPECTIVA TECNOLÓGICA	4
VACUNAS DE ARNm	7
Introducción.....	7
ANÁLISIS DE PATENTES	10
Comportamiento de patentes.....	10
Aplicación tecnológica	12
Distribución tecnológica	15
Principales organizaciones con más documentos de patente	18
Principales países.....	20
Principales investigadores	22
Redes de colaboración de cesionarios	24
Redes de colaboración en co-inventoría.....	31
ENSAYOS CLÍNICOS	37
Comportamiento	37
Fases clínicas.....	39
Tipo de intervención	40
Estatus clínico	42
Principales organizaciones	43
Principales líneas terapéuticas	45
REDES DE COLABORACIÓN	49
Primer nodo	50
Segundo nodo	52
Tercer nodo.....	54
Cuarto nodo.....	56
Quinto nodo	58
Sexto nodo	60
Septimo nodo.....	62
Octavo nodo	64
Noveno nodo	65
Décimo nodo	67
Décimoprimer nodo	68
OBSERVACIONES FINALES	70
Técnicas	70
Comerciales.....	70

METODOLOGÍA

Para el desarrollo de esta vigilancia tecnológica, se empleó una metodología mixta que integra herramientas estadísticas, plataformas especializadas en propiedad intelectual, análisis clínico y mapeo de redes de colaboración científica.

- Estadísticas de mercado y contexto tecnológico. Para contextualizar la evolución de la plataforma ARNm en términos de adopción e impacto industrial, se emplearon fuentes secundarias y bases de datos de inteligencia de mercado como Statista.
- Análisis de patentes. Se utilizó la plataforma Orbit Intelligence de Questel, enfocada en el análisis de patentes, para identificar documentos relevantes en bases de datos internacionales.
- Análisis de ensayos clínicos. Se consultó la base de datos ClinicalTrials.gov, identificando todos los estudios clínicos relacionados con vacunas de ARNm. La información fue categorizada por fase clínica, tipo de intervención, estatus de los estudios, principales organizaciones patrocinadoras y áreas terapéuticas.
- Redes de colaboración tecnológica y científica. A través de la herramienta Orbit Insight, se generaron mapas de co-invencción y cesión de patentes, así como vínculos entre instituciones participantes en proyectos conjuntos y consorcios.

Esta metodología permitió construir un panorama detallado y actualizado de la evolución tecnológica del ARNm, facilitando la toma de decisiones estratégicas para actores del sector salud, investigación biomédica y desarrollo farmacéutico.

Prospectiva Vacunas de ARNm



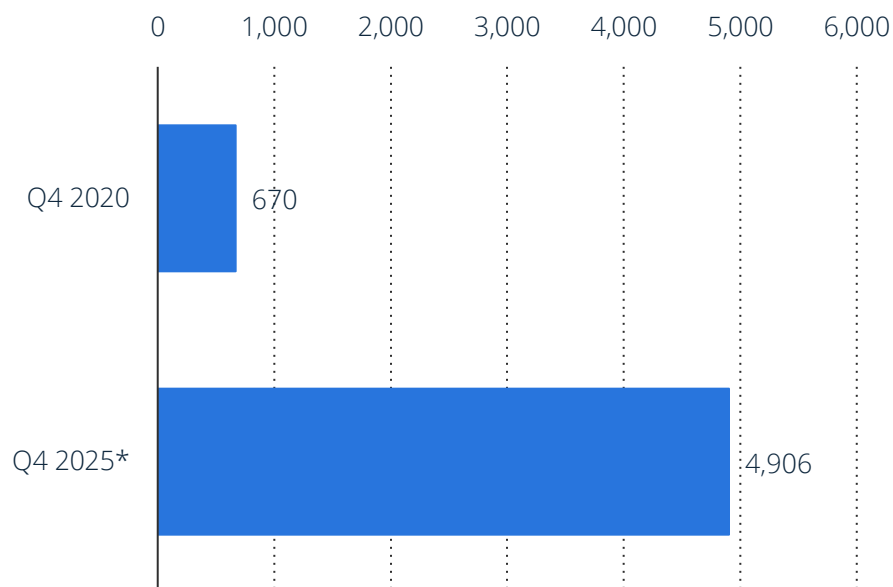
ESPACIO QUÍMICO
RADAR FARMACÉUTICO



PROSPECTIVA TECNOLÓGICA

El uso del ARNm como medicamento implica un enfoque fundamentalmente diferente para el tratamiento de enfermedades que el de otras clases de fármacos. El ARNm es el manual de instrucciones que utilizan las células del cuerpo humano para producir proteínas y enviarlas a diversas partes del organismo. Los medicamentos de ARNm aprovechan los procesos biológicos normales para crear proteínas y lograr el efecto terapéutico deseado. Esto abre el potencial para el tratamiento de una amplia gama de enfermedades, muchas de las cuales no pueden tratarse con las tecnologías actuales.

Mercado mundial de vacunas y terapias de ARNm para la COVID-19 en el cuarto trimestre de 2020 y pronóstico para el cuarto trimestre de 2025
(millones de dólares estadounidenses).

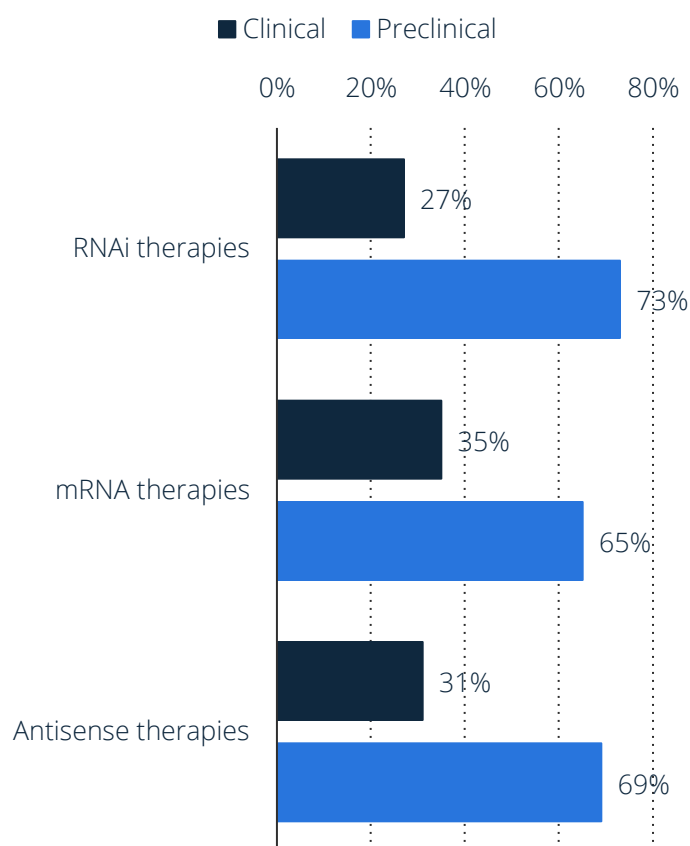


Con la pandemia de COVID-19 llegaron las autorizaciones de emergencia para las primeras vacunas de ARNm aplicadas en humanos en toda la historia de la humanidad. Y fue en el cuarto trimestre de 2020 cuando se

produjeron y aplicaron las primeras dosis de vacunas, con lo que el mercado mundial de vacunas y terapias de ARNm para la COVID-19 alcanzó un valor aproximado de \$670 millones de dólares estadounidenses. Sin embargo, con la evolución de nuevas aplicaciones terapéuticas se proyecta que el mercado alcance \$4,906 millones de dólares en el cuarto trimestre de 2025.

Dentro del portafolio de proyectos de ARN, los de ARNm son los que tienen mayor peso en fase de investigación clínica (35%), mientras que las terapias de ARNi (interferencia de ácido ribonucleico) son las que tienen mayor peso en fase preclínica (73%).

Distribución de la cartera de proyectos de terapia de ARN en todo el mundo a partir del primer trimestre de 2025, por fase.



Lo anterior muestra que los proyectos más cercanos a mercado son los de ARNm, mientras que el pipeline que se construye a futuro se mueve hacia proyectos ARNi. Las terapias de ARN, especialmente el ARN mensajero (ARNm), se popularizaron gracias a las vacunas contra la COVID-19 de Pfizer/BioNTech y Moderna.

Las principales empresas proveedoras de vacunas de ARNm para COVID-19 fueron Biontech y Moderna, siendo estas los primeros productos que ambas empresas introdujeron al mercado, es decir, hasta antes de la pandemia, ambas compañías estaban en fases de desarrollo de sus vacunas de ARNm, pero no habían logrado introducir ninguna al mercado.

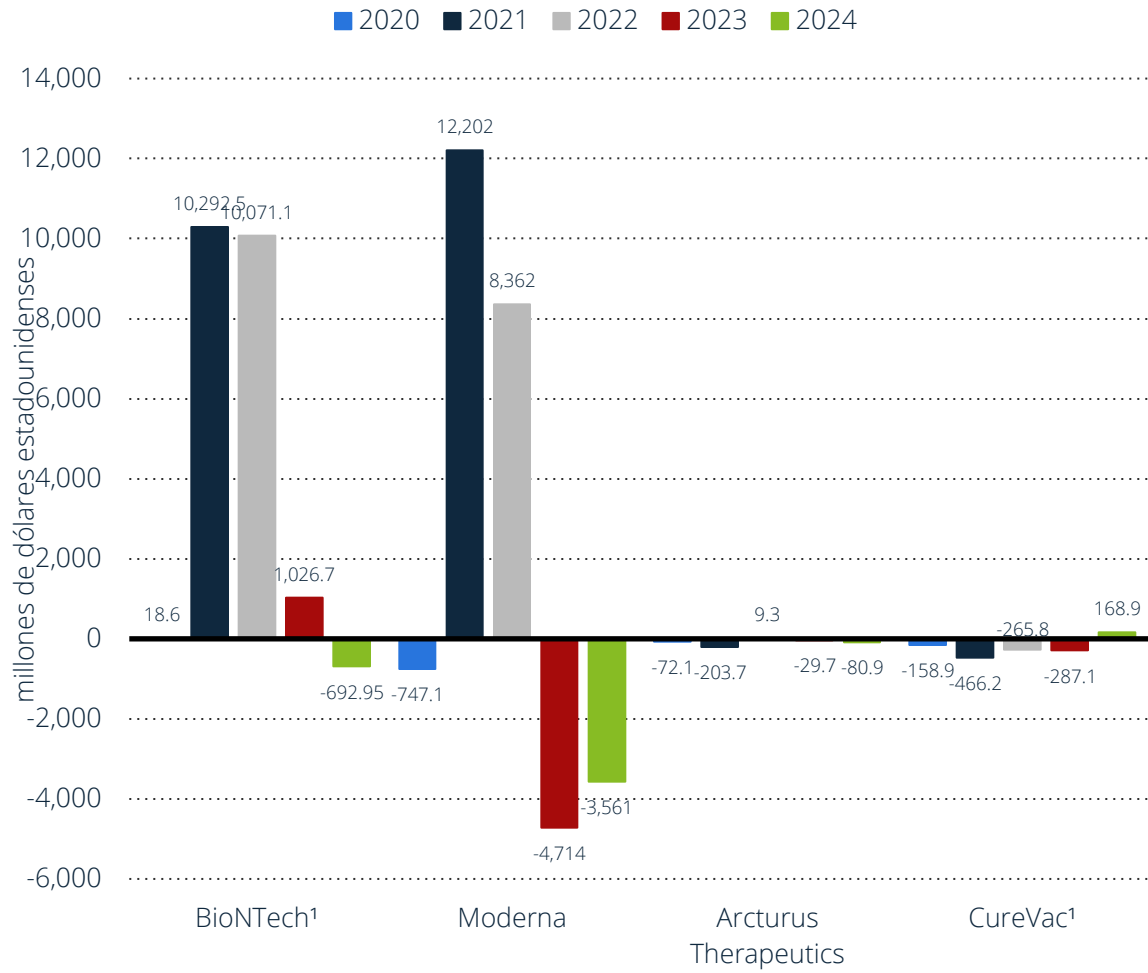
De manera que entre los años 2021 y 2022, donde se aplicaron 156.8 millones de dosis de la vacuna de Moderna y 664.3 millones de dosis de la vacuna de Biontech, fueron los años en que ambas compañías registraron ganancias por primera vez en su historia.

En el caso de Biontech, en 2021 y en 2022 tuvo ganancias por más de 10 mil millones de dólares en cada año, mismos que disminuyeron a poco más de mil millones de dólares en 2023. Una vez concluida la pandemia de COVID, durante 2024 generó pérdidas por casi 700 millones de dólares, siendo primordial la introducción al mercado de nuevos tratamientos con ARNm.

Para Moderna, 2021 representó ganancias por 12 mil 200 millones de dólares y 2022 ganancias por 8 mil 360 millones de dólares. Pero al igual que con Biontech, una vez controlada la pandemia, 2023 y 2024 representaron pérdidas, pero de una magnitud mucho mayor, habiendo acumulado pérdidas por casi 8 mil 300 millones de dólares en esos 2 años.

Principales empresas proveedoras de vacunas de ARNm





VACUNAS DE ARNm

Introducción

¿Qué son las vacunas de ARNm?

Las vacunas de ARN mensajero (ARNm) son una clase de vacunas de base genética que emplean secuencias sintéticas de ARNm para instruir a las células del cuerpo humano a producir un antígeno específico, normalmente una proteína de un virus o patógeno, que activa la respuesta inmunitaria. A diferencia de las vacunas tradicionales basadas en virus inactivados, atenuados o proteínas recombinantes, las vacunas de ARNm no contienen el patógeno en sí, lo que mejora su perfil de seguridad y acelera su producción, ya que no se requieren costosas instalaciones con niveles de bioseguridad elevados.

El ARNm se encapsula en sistemas de entrega como nanopartículas lipídicas (LNPs) que protegen la molécula y permiten su entrada en las células. Una vez dentro, el ribosoma traduce el ARNm en la proteína antigénica, desencadenando la producción de anticuerpos y células T específicas.

¿Cómo funcionan las vacunas de ARNm?

Las vacunas de ARNm funcionan mediante un proceso altamente innovador que aprovecha la maquinaria celular del cuerpo humano para generar una respuesta inmunitaria específica. Primero, se diseña en laboratorio un fragmento de ARNm que codifica una proteína clave del virus, como la proteína Spike del SARS-CoV-2. Este ARNm se encapsula en

nanopartículas lipídicas (LNPs), que actúan como sistema de liberación y protección, facilitando su entrada a las células.

Una vez administrada por vía intramuscular, la vacuna permite que el ARNm ingrese a las células del músculo, donde es leído por los ribosomas, que traducen la información genética en la proteína viral. Esta proteína es reconocida por el sistema inmunológico como un agente extraño, lo que desencadena la producción de anticuerpos neutralizantes y la activación de células T de memoria, preparando al organismo para enfrentar futuras infecciones.

Posteriormente, el ARNm se degrada de forma natural sin integrarse al ADN ni permanecer en el organismo, lo que garantiza un perfil de seguridad favorable. Degradación: El ARNm no se integra al ADN ni permanece en el organismo; se degrada de manera natural en horas.

¿Cuál es el origen de las vacunas de ARNm?

La primera hipótesis sobre el funcionamiento del ARN se atribuye a los franceses André Boivin y Roger Vendreley en 1947, pero el conocimiento de la época no permitía comprobar dicha teoría. Es hasta 1961, que Sidney Brenner plantea que la información que codifica la producción de proteínas no está presente en el ARN ribosomal, y que existe una molécula de ARN que actúa como mensajera, acuñando el término ARNm.

De manera que hace casi 80 años ya existía el concepto teórico de ARN y hace poco más de 60 años se comprendió el papel del ARNm, de manera que no se trata de un descubrimiento científico reciente, ni mucho menos. Si el rápido desarrollo de vacunas durante la pandemia fue posible, es gracias a la investigación hecha por más de 80 años en el campo.

Ahora bien, el avance de la investigación científica en la materia permite que el potencial terapéutico del ARNm comience a ser investigado a finales de la década de los 80's del siglo pasado. De manera que aunque el auge mediático surgió con las vacunas contra COVID-19, las vacunas de ARNm tienen más de tres décadas de desarrollo experimental:

AÑO	HITO	FUENTE
1987–1989	Se sintetiza ARNm in vitro funcional en modelos animales.	Wolff et al. (Science, 1990)
1995–2005	CureVac y Moderna inician programas de ARNm con estabilización por nucleósidos.	Karikó & Weissman (2005)
2013–2018	Primeros estudios clínicos en humanos (rabia, gripe, zika).	ClinicalTrials.gov
2020	Aprobación emergente por la FDA de BNT162b2 (Pfizer-BioNTech) y mRNA-1273 (Moderna) contra SARS-CoV-2.	FDA EUA, Dec. 2020
2021–2025	Se expanden plataformas ARNm para influenza, RSV, CMV, VIH, cáncer (neoantígenos).	Moderna Pipeline, BioNTech Oncology

La investigación en el campo enfrentó dos retos muy relevantes, el desarrollo de los mecanismos de *drug delivery* y la prevención de la respuesta inmune que el ARNm desataba y que causaba la muerte de los animales involucrados en los ensayos pre clínicos. El avance crucial fue la modificación de nucleósidos y los sistemas de entrega lipídicos, que redujeron la inmunogenicidad del ARNm crudo y aumentaron su estabilidad y traducción.

Destaca en particular el trabajo de Katalin Karikó y Drew Weissman quienes identificaron que el ARNm activaba los receptores (TLR) de las células inmunes, pero que al modificarlo agregando pseudouridina se desactivaba la respuesta inmune no deseada que causaba procesos inflamatorios, permitiendo la obtención de resultados favorables en la investigación pre clínica. Lo anterior les valió ser galardonados con el Premio Nobel de Medicina en 2023.

Las vacunas de ARNm representan una innovación disruptiva en biotecnología con ventajas tecnológicas que redefinen la forma en que se desarrollan, producen y adaptan las soluciones inmunológicas.

Una de sus principales fortalezas es su desarrollo ultrarrápido, al basarse en el diseño digital de secuencias genéticas, es posible generar una vacuna candidata en cuestión de días una vez que se conoce la secuencia del patógeno, lo que fue crucial en la respuesta global a la pandemia de COVID-19. Además, su producción es altamente escalable, ya que no requiere cultivos celulares, virus inactivados ni huevos embrionados, lo que simplifica la fabricación, reduce los riesgos biológicos y permite una distribución más eficiente a nivel global.

La flexibilidad tecnológica del ARNm permite reprogramar fácilmente la secuencia genética para abordar nuevas variantes virales o enfermedades emergentes, lo que abre la puerta a una plataforma adaptable de amplio espectro. En términos de seguridad, estas vacunas presentan ventajas clave, como la ausencia de replicación viral y la imposibilidad de integración en el genoma humano, lo que reduce significativamente los riesgos a largo plazo.

Finalmente, su potencial se expande más allá de las enfermedades infecciosas, ya que se están desarrollando aplicaciones terapéuticas emergentes como vacunas personalizadas contra el cáncer, terapias génicas para enfermedades raras y tratamientos para patologías autoinmunes, lo que consolida al ARNm como una de las plataformas más prometedoras de la medicina del siglo XXI.

Patentes Vacunas de ARNm



ESPACIO QUÍMICO
RADAR FARMACÉUTICO



INSTITUTO
DE QUÍMICA



ANALISIS DE PATENTES

Estrategia de búsqueda en título, abstract, claims dependientes e independientes, descripción y objeto de la invención:

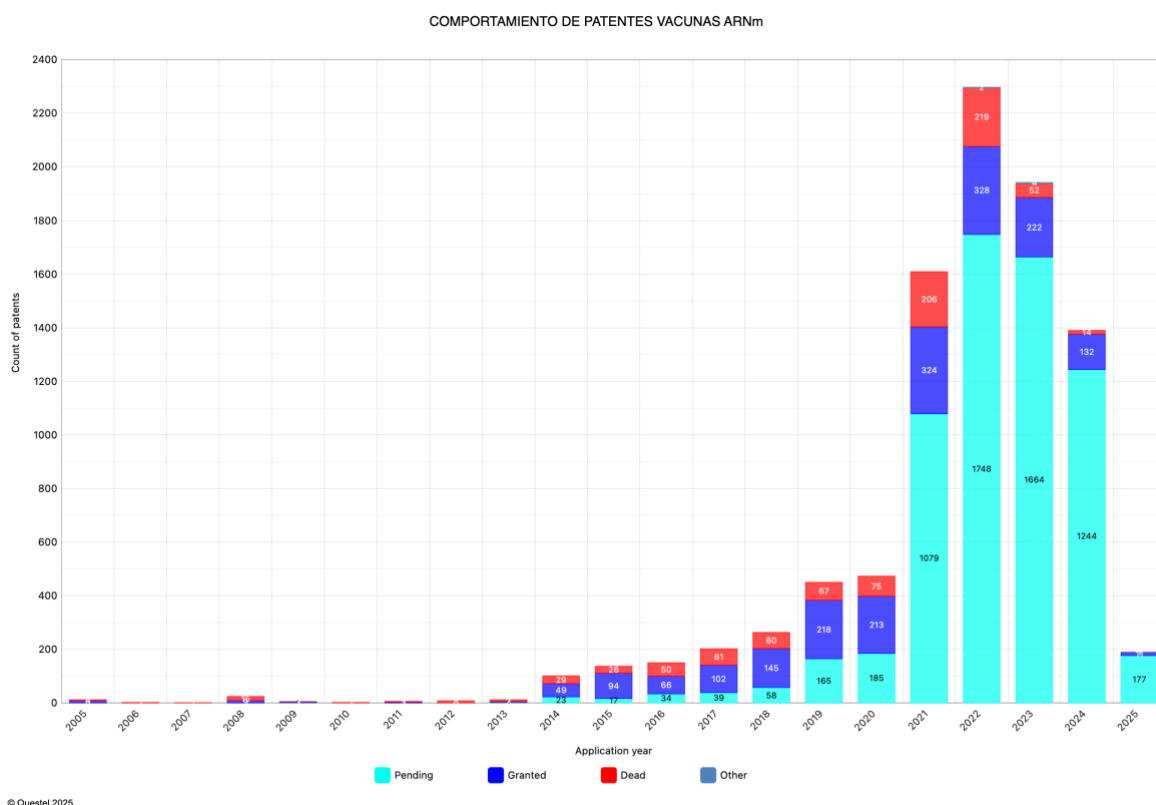
(MRNA VACCINE OR SYNTHETIC MRNA VACCINE OR SELF-AMPLIFYING MRNA VACCINE OR RIBONUCLEIC ACID VACCINE OR NUCLEOSIDE-MODIFIED MRNA VACCINE OR NON-VIRAL MRNA VACCINE OR MESSENGER RNA IMMUNIZATION OR MRNA-BASED VACCINE OR MRNA VACCINE TECHNOLOGY OR MRNA IMMUNOTHERAPY OR LIPID NANOPARTICLE-ENCAPSULATED MRNA OR MRNA VACCINE)/TI/AB/CLMS/DESC/ODES/OBJ/ADB/ICLM

Comportamiento de patentes

El panorama global de patentes en vacunas basadas en ARNm revela un ecosistema altamente activo, competitivo y en transformación. Actualmente se registran un total de 6,436 solicitudes de patente, lo cual evidencia un flujo constante y creciente de innovación en fase temprana. Esta cifra es indicativa de una estrategia agresiva por parte de empresas, universidades y consorcios científicos por asegurar derechos exclusivos sobre plataformas tecnológicas, sistemas de entrega, formulaciones termoestables y nuevas indicaciones terapéuticas relacionadas con el ARNm.

En paralelo, existen ya 1,930 patentes otorgadas, lo que refleja una madurez tecnológica significativa en diversas áreas, desde vacunas profilácticas para COVID-19, influenza o RSV, hasta aplicaciones terapéuticas en cáncer, VIH y enfermedades raras. La obtención de estos títulos de patente indica que un número importante de desarrollos ha superado las etapas de análisis formal y técnico en oficinas de patentes, consolidando así su protección legal en jurisdicciones clave como Estados Unidos, Europa, China y Japón.

Por otro lado, se identifican 945 patentes vencidas, lo que puede atribuirse a factores como, abandono estratégico, evolución tecnológica que las ha dejado obsoletas. Este bloque representa un espacio potencial de exploración para proyectos con fines de I+D, reformulación, FTO (freedom to operate) o mejora incremental sin riesgo de infracción.



El análisis del comportamiento y estatus legal de las patentes relacionadas con vacunas de ARNm a lo largo del tiempo revela una evolución clara del campo, desde una fase inicial de exploración hasta una etapa de consolidación y expansión tecnológica.

Durante los primeros años del periodo analizado 2005–2015, el número de patentes fue relativamente bajo y dominado por títulos ya otorgados o caducados, lo que indica un ecosistema incipiente, caracterizado por

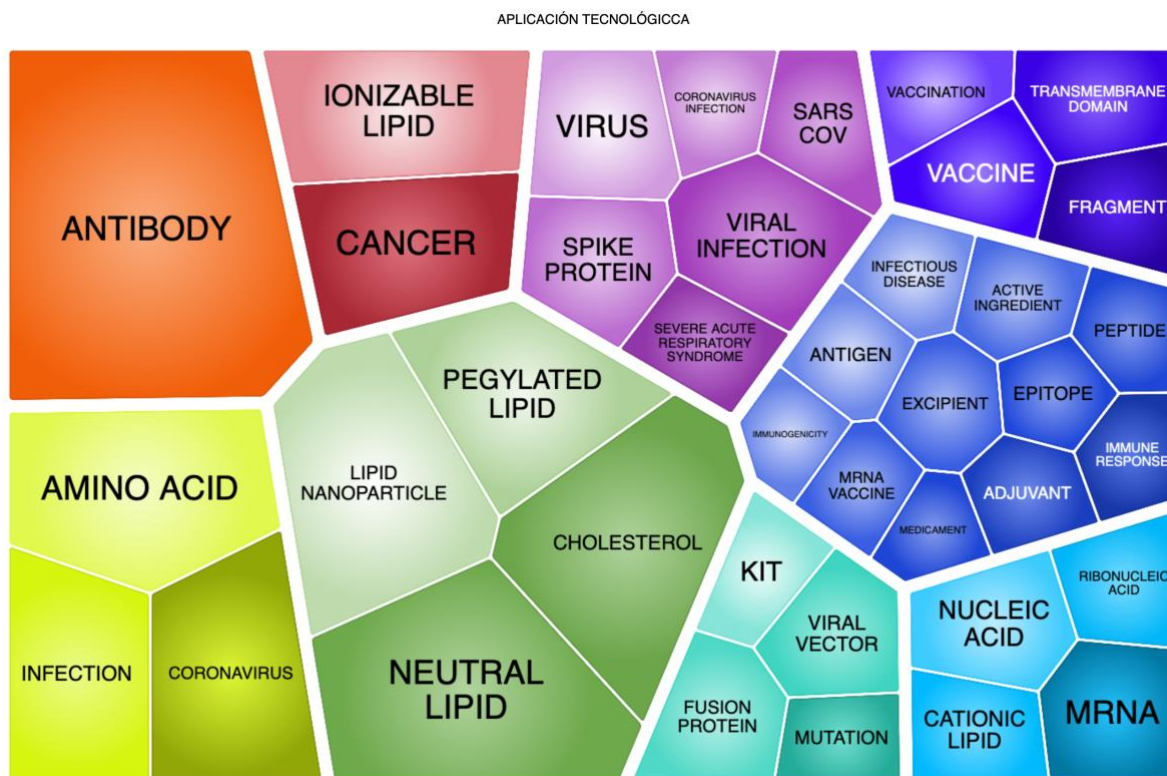
iniciativas académicas y desarrollos en etapas experimentales. Sin embargo, a partir de 2016 se observa un incremento significativo en solicitudes pendientes, que se acelera de manera drástica entre 2020 y 2022 coincidiendo con el impulso global generado por la pandemia de COVID-19 y la adopción masiva de plataformas de ARNm para uso vacunal.

Este auge se refleja en cifras contundentes, en 2021, por ejemplo, se registraron más de 1,000 solicitudes pendientes, mientras que en 2022 se alcanzaron las 1,748 patentes en trámite. Al mismo tiempo, las patentes concedidas también crecieron de forma sostenida, pasando de 66 en 2016 a más de 320 en los años 2021 y 2022.

Por otro lado, las patentes clasificadas como muertas ya sea por vencimiento, abandono o rechazo, muestran un crecimiento más moderado, pero reflejan también un proceso natural de filtración tecnológica. Este fenómeno sugiere que muchas solicitudes iniciales no alcanzaron el valor técnico o estratégico necesario para mantener su protección, o bien fueron descartadas por cambios en la dirección de investigación y desarrollo.

Aplicación tecnológica

La siguiente ilustración representa un mapa tecnológico de términos clave asociados a aplicaciones tecnológicas en patentes de vacunas de ARNm, construido a partir del análisis semántico de documentos de patente. Este tipo de visualización, frecuentemente llamado semantic cluster map o technology concept map, permite identificar las áreas más densas de innovación y los conceptos más recurrentes protegidos en el ecosistema global.



- Plataforma y molécula central MRNA, RIBONUCLEIC ACID, NUCLEIC ACID, MRNA VACCINE, MEDICAMENT

Estos términos representan la columna vertebral tecnológica del sistema, la molécula codificante (ARNm), sus derivados ácidos nucleicos, y su clasificación farmacéutica como medicamento. El hecho de que MRNA y MRNA VACCINE aparezcan en regiones separadas indica que hay patentes que se enfocan no sólo en la vacuna como producto final, sino también en tecnologías auxiliares, métodos de codificación y optimización molecular.

- Sistema de entrega LIPID NANOPARTICLE, PEGYLATED LIPID, NEUTRAL LIPID, IONIZABLE LIPID, CHOLESTEROL, CATIONIC LIPID

Estos términos son cruciales para las formulaciones LNP (Lipid Nanoparticles) que encapsulan el ARNm. Su amplia presencia y segmentación semántica

refleja la carrera tecnológica para proteger tipos específicos de lípidos, su proporción, forma de ensamblaje, funcionalización (PEG) y comportamiento en sistemas biológicos (ionización, estabilidad, distribución). También indica que el delivery es uno de los focos más competitivos en el campo.

- Áreas terapéuticas o indicaciones VIRUS, VIRAL INFECTION, CORONAVIRUS INFECTION, SARS COV, SEVERE ACUTE RESPIRATORY SYNDROME, CANCER

Aquí se concentran las principales aplicaciones clínicas de las vacunas ARNm, tanto profilácticas (COVID-19, SARS, influenza) como terapéuticas (cáncer). La coexistencia de términos virales y oncológicos evidencia que el ARNm ha sido extendido hacia el desarrollo de vacunas terapéuticas personalizadas, especialmente en inmunooncología (BioNTech, Moderna, CureVac).

- Componentes funcionales y biológicos ANTIGEN, ADJUVANT, EPITOPE, ACTIVE INGREDIENT, IMMUNE RESPONSE, PEPTIDE, EXCIPIENT

Este bloque abarca los elementos bioactivos que definen la inmunogenicidad de las vacunas de ARNm. Las patentes en este espacio se centran en la selección de epítomos específicos, péptidos codificados, moduladores de respuesta inmune y excipientes (componentes farmacéuticos auxiliares), así como en el diseño de adyuvantes que potencian la eficacia de la respuesta inmunológica.

- Complementos experimentales y herramientas KIT, VIRAL VECTOR, MUTATION, FUSION PROTEIN

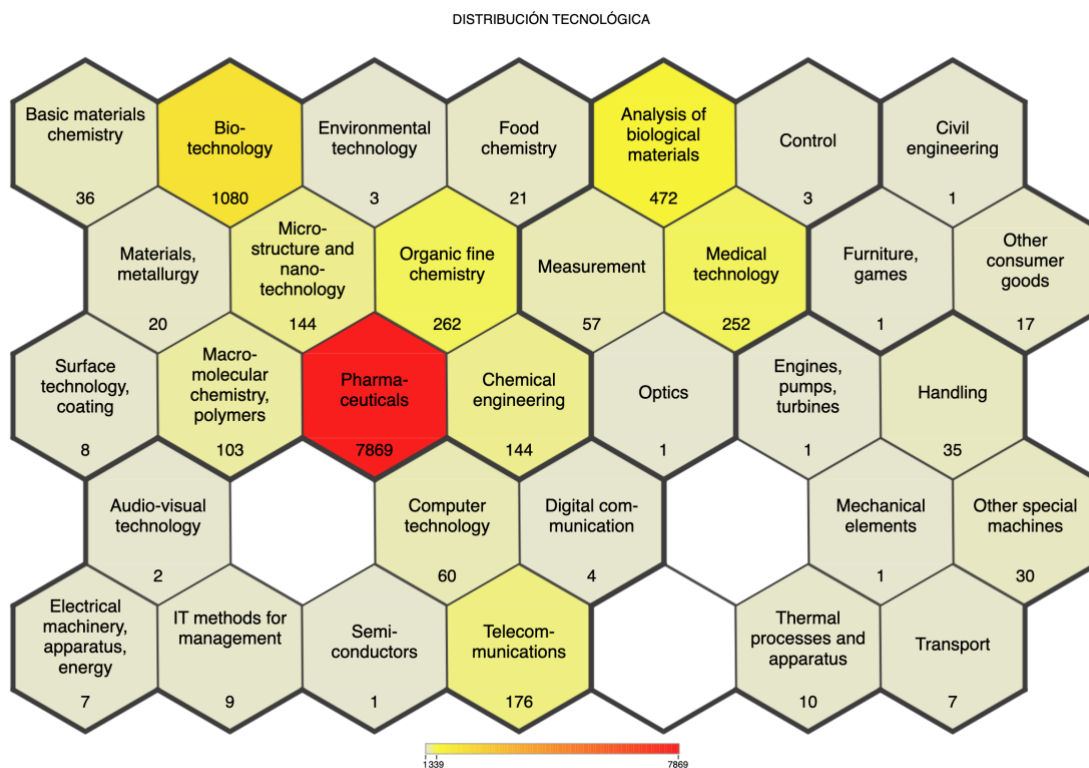
Estas tecnologías están asociadas a herramientas de validación y formulación complementaria. Por ejemplo, KIT puede referirse a dispositivos de diagnóstico relacionados a la vacuna o a combinaciones de administración. FUSION PROTEIN indica tecnologías donde el ARNm codifica proteínas híbridas para mejorar especificidad. VIRAL VECTOR resalta que algunas combinaciones con vectores adenovirales o de otro tipo se están explorando de forma híbrida.

- Otros conceptos estructurales o funcionales ANTIBODY, AMINO ACID, INFECTION, SPIKE PROTEIN, TRANSMEMBRANE DOMAIN, FRAGMENT

Este grupo incluye conceptos transversales o estructurales. ANTIBODY apunta a aplicaciones indirectas del ARNm para inducir producción de anticuerpos o codificar anticuerpos directamente. SPIKE PROTEIN aparece como uno de los blancos más protegidos en SARS-CoV-2. FRAGMENT y TRANSMEMBRANE DOMAIN se vinculan al diseño de antígenos recombinantes codificados por el ARNm.

Distribución tecnológica

La tecnología de vacunas de ARNm no se limita a un único campo, sino que integra sectores farmacéuticos, biotecnológicos, químicos, médicos, nanoestructurales y digitales. Esta transversalidad demuestra que el éxito y evolución de esta plataforma depende de una colaboración multidisciplinaria que va desde la molécula hasta el mercado.



© Questel 2025

El sector farmacéutico lidera ampliamente el ecosistema tecnológico de las vacunas de ARNm, con 7,869 patentes. Esto se debe a que estas vacunas, en su forma final, son productos farmacéuticos que requieren formulaciones específicas, combinación con adyuvantes, elección de excipientes, desarrollo de formas de dosificación, rutas de administración y validación en estudios preclínicos y clínicos. Además, dentro de este sector se protegen vacunas personalizadas, particularmente en oncología, así como su combinación con otras terapias y los procesos industriales de manufactura bajo normas de buenas prácticas (GMP).

En segundo lugar, el sector de biotecnología cuenta con 1,080 patentes y representa la base científica que sustenta el desarrollo del ARNm. Aquí se concentran innovaciones en ingeniería genética, diseño y optimización de secuencias, selección de antígenos, modificación de nucleósidos como la pseudouridina y tecnologías de transcripción in vitro. Es el espacio donde se

conceptualiza y estructura la molécula que codificará una respuesta inmunitaria específica.

El sector de química orgánica fina, con 262 patentes, juega un papel fundamental en la mejora de la estabilidad y funcionalidad del ARNm. Aquí se desarrollan componentes especializados como nucleósidos modificados, lípidos funcionales (ionizables, PEGilados), estabilizadores moleculares y compuestos bioactivos que permiten una mejor eficiencia de traducción y una menor inmunogenicidad no deseada.

Por su parte, el sector de tecnología médica, con 252 patentes, incluye dispositivos y métodos de administración de las vacunas, como jeringas especializadas, parches transdérmicos, inhaladores, microagujas, así como sistemas para medir la respuesta inmunológica. También abarca dispositivos diagnósticos integrados a kits de vacunación o detección de infecciones.

El sector de análisis de materiales biológicos, con 472 patentes, se enfoca en métodos analíticos que permiten validar la efectividad de las vacunas de ARNm. Aquí se protegen tecnologías para cuantificar la expresión de proteínas, evaluar biomarcadores, medir la inmunogenicidad y controlar la calidad de los lotes en desarrollo clínico o producción industrial.

El sector de microestructura y nanotecnología, con 144 patentes, es clave para la innovación en sistemas de entrega, especialmente en el desarrollo de nanopartículas lipídicas (LNPs). Estas tecnologías están diseñadas para proteger el ARNm, mejorar su transporte intracelular, modular su liberación y garantizar que llegue al tipo celular correcto para la expresión del antígeno.

En el sector de ingeniería química, también con 144 patentes, se concentran los procesos necesarios para escalar la producción de vacunas desde el

laboratorio hasta la industria. Aquí se incluyen técnicas como mezcla, purificación, encapsulamiento, filtración, liofilización y otros pasos críticos para asegurar reproducibilidad, estabilidad y eficiencia a gran escala.

La química macromolecular y de polímeros, con 103 patentes, aporta materiales funcionales como hidrogeles, sistemas de liberación y recubrimientos que estabilizan el ARNm o mejoran su biocompatibilidad. También se exploran polímeros sensibles a estímulos externos (temperatura, pH) que permiten una liberación más controlada del contenido terapéutico.

El sector de tecnología computacional, con 60 patentes, aporta algoritmos y herramientas digitales para el modelado estructural del ARNm, predicción de epítomos, optimización de codones y simulación de respuesta inmunitaria. Es un sector clave para acelerar el diseño de vacunas, especialmente en contextos como pandemias, donde la velocidad es crítica.

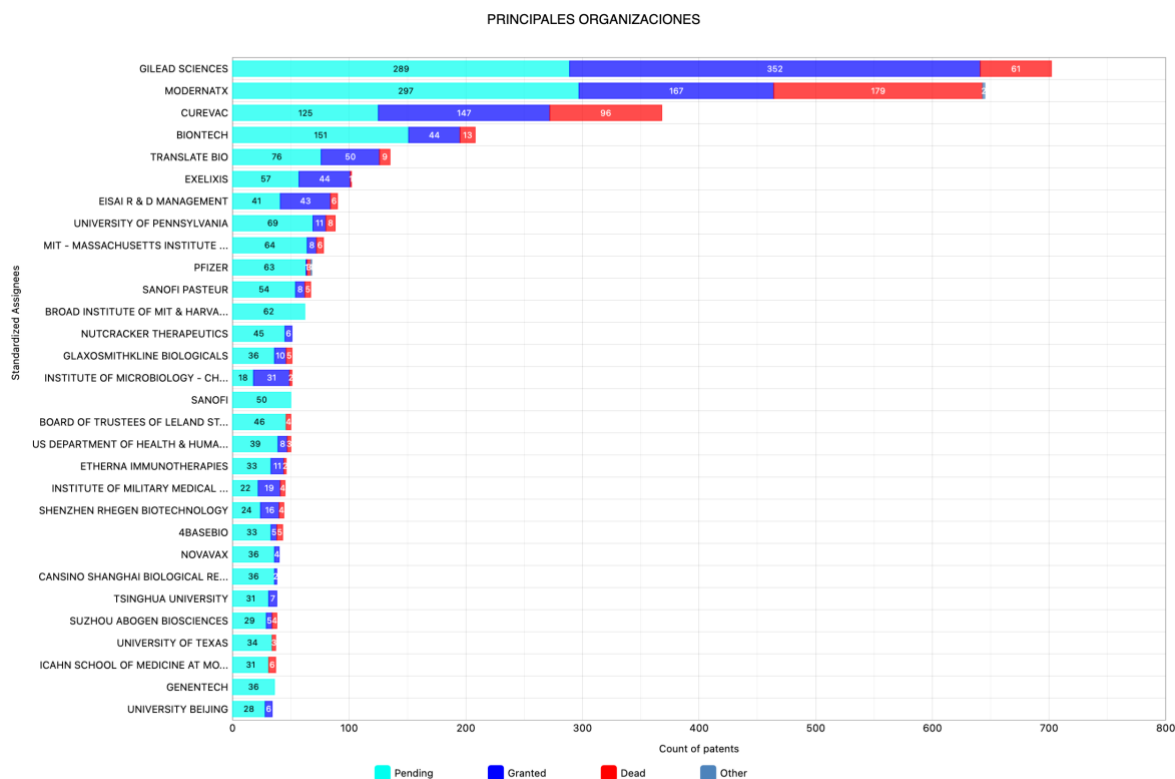
Finalmente, el sector de química de materiales básicos, con 36 patentes, abarca la síntesis de nuevos materiales base como lípidos, buffers, sales y recubrimientos que son esenciales en la formulación final del producto. Su función es mejorar la solubilidad, estabilidad y compatibilidad del ARNm con el entorno fisiológico.

Principales organizaciones con más documentos de patente

Las empresas y organizaciones con más patentes otorgadas es liderada por GILEAD SCIENCES con 352 patentes concedidas, lo que sugiere una estrategia sólida de protección en tecnologías clave, seguidas por CUREVAC y MODERNATX con 147 y 167 patentes otorgadas,



respectivamente. TRANSLATE BIO y ARBUTUS BIOPHARMA también destacan con más de 40 patentes concedidas.



Por otro lado, las empresas y organizaciones con más solicitudes de patente son MODERNATX con 297 solicitudes pendientes, reflejando su pipeline de innovación activa en vacunas preventivas, terapéuticas oncológicas y enfermedades infecciosas. GILEAD SCIENCES y BIONTECH le siguen con 289 y 151 solicitudes, respectivamente, lo que revela su fuerte inversión en nuevas formulaciones, combinaciones antigénicas y expansión de indicaciones. CUREVAC, con 125 solicitudes, mantiene una posición relevante, aunque con una caída relativa tras 2022 por cambios en estrategia de I+D.

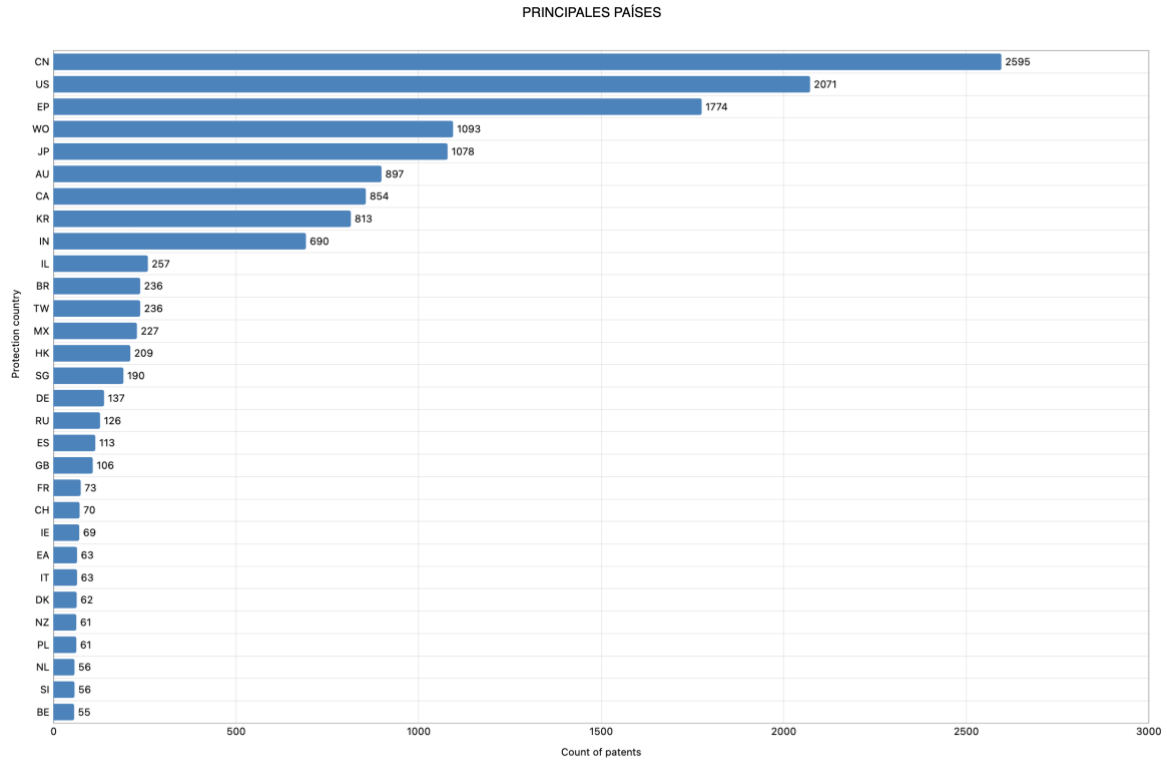
Por último, las organizaciones con más patentes caducas son MODERNATX con 179 patentes vencidas. CUREVAC y GILEAD SCIENCES reportan 96 y 61

patentes vencidas, respectivamente. ARBUTUS BIOPHARMA y TRANSLATE BIO muestran cifras menores pero significativas, vinculadas posiblemente a tecnologías tempranas de entrega de ARNm que han sido reemplazadas.

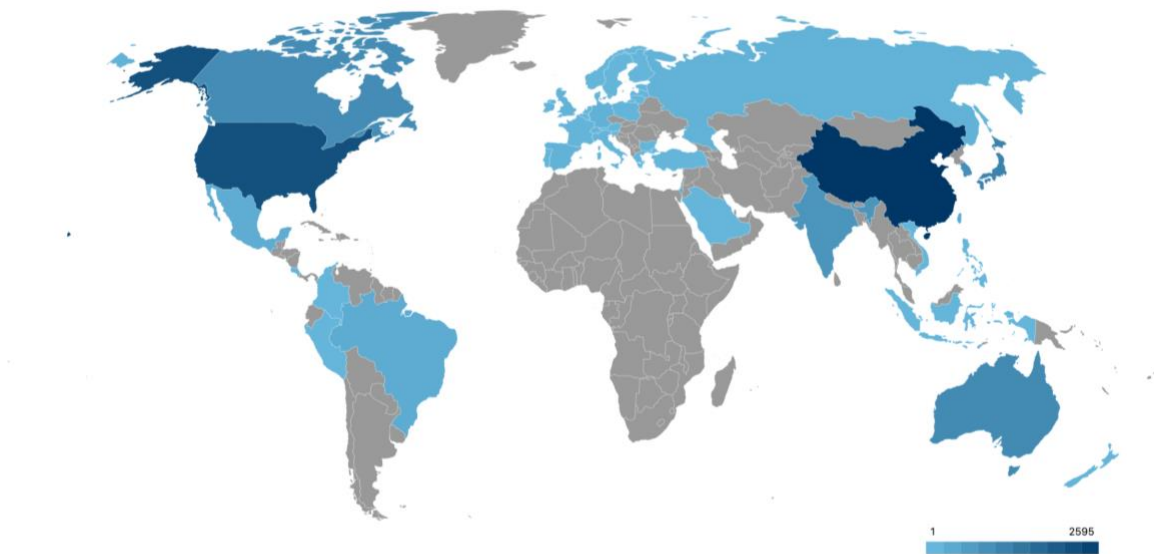
Principales países

El análisis de los países con mayor número de patentes relacionadas con vacunas de ARNm muestra una clara concentración en jurisdicciones con alta capacidad tecnológica, robustos sistemas de propiedad intelectual y mercados farmacéuticos consolidados. China encabeza la lista con 2,595 patentes protegidas, lo que refleja su estrategia nacional de liderazgo en biotecnología y producción masiva. Le siguen Estados Unidos con 2,071 patentes, destacando su papel como cuna del desarrollo del ARNm, particularmente a través de compañías como Moderna, Pfizer/BioNTech con co-licencias, y múltiples centros académicos y gubernamentales como el NIH.

La Oficina Europea de Patentes también es clave con 1,774 documentos, señalando la estrategia regional de protección multi-país, especialmente de actores alemanes como BioNTech y CureVac. Además, la ruta PCT muestra una fuerte presencia con 1,093 publicaciones, lo que indica la intención de internacionalizar rápidamente estas tecnologías en mercados múltiples desde fases tempranas.



© Questel 2025



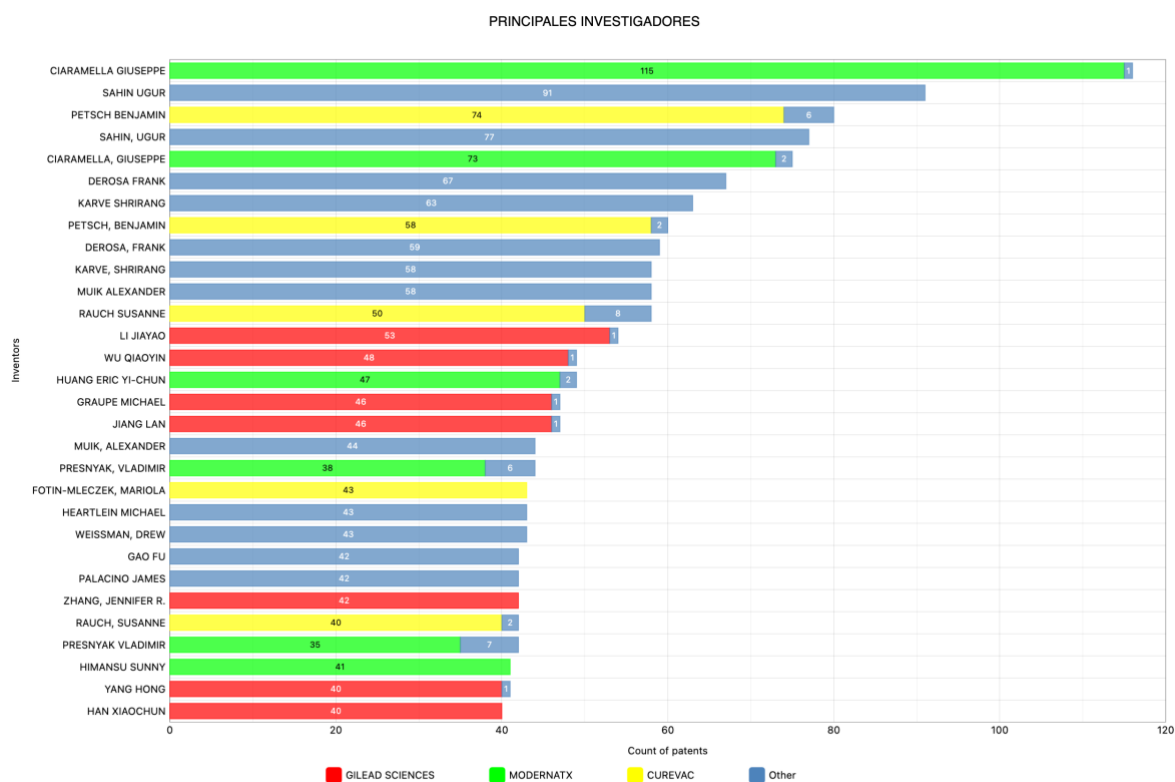
© Questel 2025

Dentro del contexto latinoamericano, México y Brasil destacan como los principales países con protección de patentes en vacunas de ARNm. Aunque sus volúmenes absolutos son significativamente menores que los de

las potencias tecnológicas, su presencia en este listado refleja un interés estratégico por atraer tecnologías emergentes, participar en ensayos clínicos, y establecer alianzas público-privadas para el acceso y transferencia.

Principales investigadores

El liderazgo en innovación en vacunas de ARNm no sólo se manifiesta en la cantidad de patentes por país o empresa, sino también en la capacidad de ciertos inventores clave para construir plataformas tecnológicas completas. Ciaramella, Sahin y Petsch representan diferentes estilos de protección, centralizada (Moderna), distribuida (BioNTech) y especializada (CureVac).



GIUSEPPE CIARAMELLA con 115 patentes bajo ModernaTX y al menos 73 adicionales registradas a su nombre, Giuseppe Ciaramella es uno de los

inventores más prolíficos en el campo del ARNm. Fue Chief Scientific Officer de Moderna's Infectious Disease Division, y ha liderado el desarrollo de formulaciones, codificación de antígenos, y estrategias de inmunogenicidad.

Su firma está presente en las patentes fundacionales de la plataforma mRNA-1273 (vacuna contra COVID-19), así como en vacunas terapéuticas oncológicas y formulaciones con nanopartículas lipídicas. Es un ejemplo claro de cómo un inventor puede estar vinculado directamente al portafolio estratégico del mayor asignatario global.

El Dr. Ugur Sahin, cofundador y CEO de BioNTech, aparece con más de 168 patentes en total (91 en una entrada y 77 en otra, posiblemente por diferencias de formato en los datos en las oficinas de patentes). Aunque sus patentes no están directamente bajo Moderna, Gilead o CureVac, Sahin ha sido una figura central en el desarrollo del ARNm como plataforma terapéutica, particularmente en la vacuna BNT162b2 (Pfizer-BioNTech) y en vacunas personalizadas contra el cáncer.

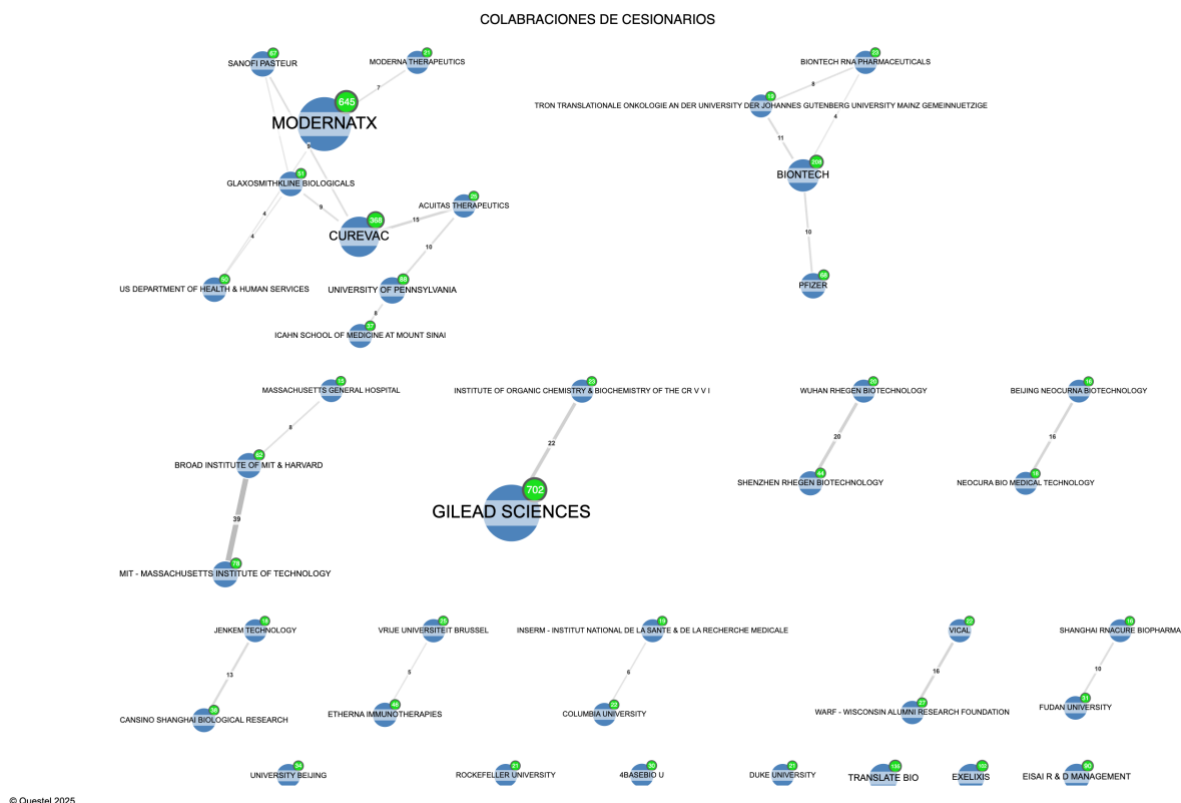
Su volumen de patentes asignadas a "other" sugiere un enfoque en protección distribuida a través de subsidiarias, consorcios o licenciarios, especialmente en Europa y vía PCT.

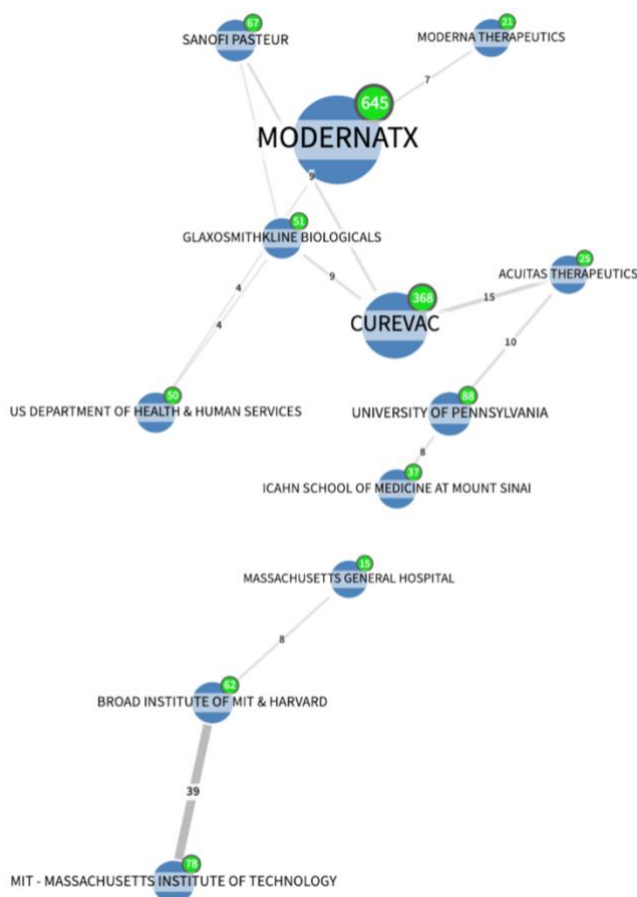
BENJAMIN PETSCH investigador líder en CureVac, Benjamin Petsch está vinculado a 74 patentes asignadas directamente a esta compañía, lo que lo posiciona como uno de los arquitectos científicos detrás del desarrollo de la vacuna CVnCoV y otras aplicaciones basadas en ARNm para enfermedades infecciosas. Sus patentes cubren desde métodos de estabilización del ARNm, hasta formulaciones inmunológicas con perfiles de respuesta balanceados. Su producción muestra un enfoque científico-

institucional altamente concentrado, coherente con la estrategia de CureVac como pionera europea en mRNA.

El Dr. Li Jiayao es un investigador senior y químico medicinal en Gilead Sciences (Foster City, California), cuenta con 53 patentes, una sólida trayectoria en el desarrollo de compuestos antivirales y plataformas farmacéuticas avanzadas, refleja una experiencia profunda en plataformas antivirales que, potencialmente, pueden integrarse o complementar tecnologías génicas como mRNA o antivirales de próxima generación.

Redes de colaboración de cesionarios





En el Nodo 1 del análisis de colaboración entre cesionarios de patentes en vacunas de ARNm, se revela una densa y estratégica red de cooperación que posiciona a MODERNATX como el eje vertebral del ecosistema global de innovación en esta tecnología.

Con 645 documentos de patente, MODERNATX lidera no solo en volumen, sino también en su capacidad para articular alianzas entre empresas farmacéuticas, biotecnológicas,

centros de investigación académica y agencias gubernamentales de salud. Esta posición central se traduce en vínculos directos con actores clave como MODERNA THERAPEUTICS (21 patentes), SANOFI PASTEUR (67), GLAXOSMITHKLINE BIOLOGICALS (51) y ACUITAS THERAPEUTICS (25), configurando un conglomerado empresarial robusto que abarca tanto la innovación farmacéutica como el desarrollo de tecnologías de entrega de ARNm.

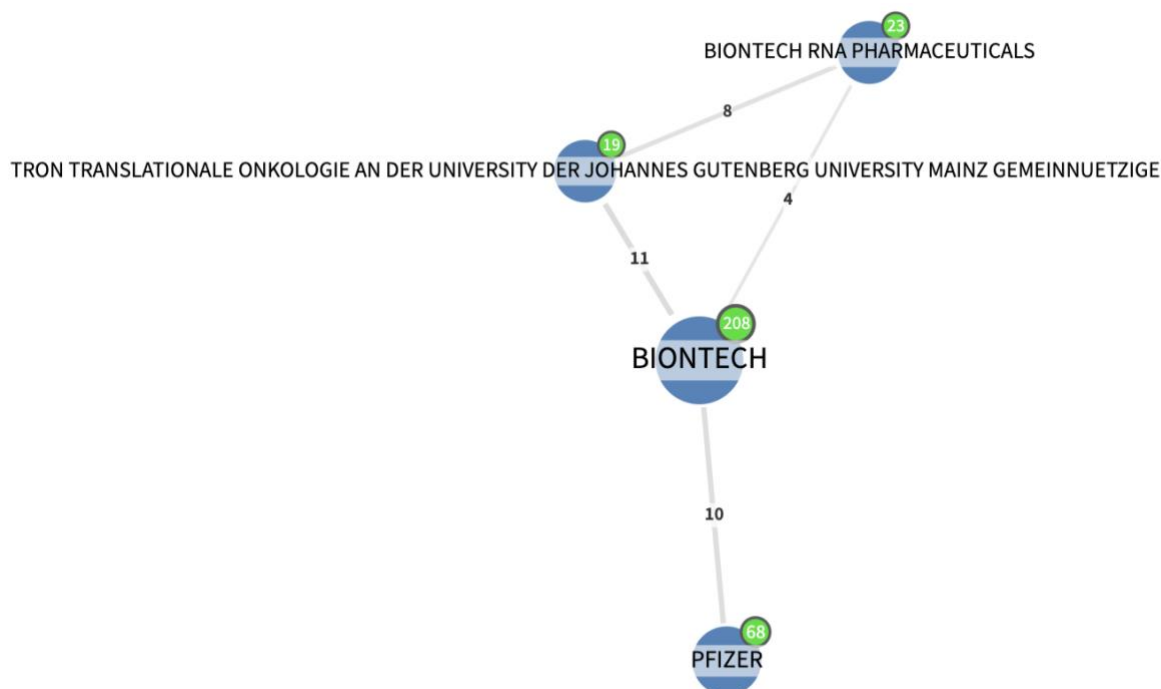
Entre las empresas de base tecnológica, destaca la presencia de CUREVAC, con 368 patentes y colaboraciones bilaterales con MODERNATX, ACUITAS y GSK, lo que sugiere una complementariedad en plataformas de ARNm y nanopartículas lipídicas (LNPs). Este tipo de cooperación intercontinental – entre EE. UU. y Alemania– refuerza la dimensión global del desarrollo de vacunas de nueva generación. Por otro lado, el US Department of Health &

Human Services (HHS), con 50 patentes, introduce el componente público en este ecosistema, asegurando alineación entre la I+D privada y las prioridades sanitarias gubernamentales.

El nodo también muestra una fuerte implicación de instituciones académicas y hospitales de alto prestigio como la University of Pennsylvania (88 patentes), el Icahn School of Medicine at Mount Sinai (37), el Massachusetts General Hospital (15), el Broad Institute of MIT & Harvard (62), y el MIT (78). Estas entidades no solo aportan patentes, sino que también integran capacidades de descubrimiento, validación preclínica y transferencia de tecnología, en estrecha conexión con MODERNATX y otras empresas. Destaca la concentración geográfica en Boston–Cambridge, donde se ubican MIT, Broad, MGH y Moderna, consolidando esta región como un hub global en vacunas de ARNm.

La relación entre ACUITAS THERAPEUTICS y CUREVAC, reflejada en 15 patentes compartidas, sugiere avances conjuntos en sistemas de entrega como LNPs, una tecnología crítica para la efectividad de las vacunas ARNm. Este nodo, en conjunto, evidencia una colaboración intersectorial, transatlántica y altamente especializada, clave para el liderazgo en esta nueva plataforma terapéutica.

El Nodo 2 del análisis de colaboración entre cesionarios en tecnologías de vacunas de ARNm está encabezado por BioNTech, con 208 patentes, consolidándose como el núcleo innovador de este subecosistema. Esta red, a diferencia del Nodo 1, presenta una estructura más concentrada en Alemania, y gira en torno a alianzas científicas y comerciales clave, destacando la sinergia entre la investigación oncológica y las plataformas de ARNm.

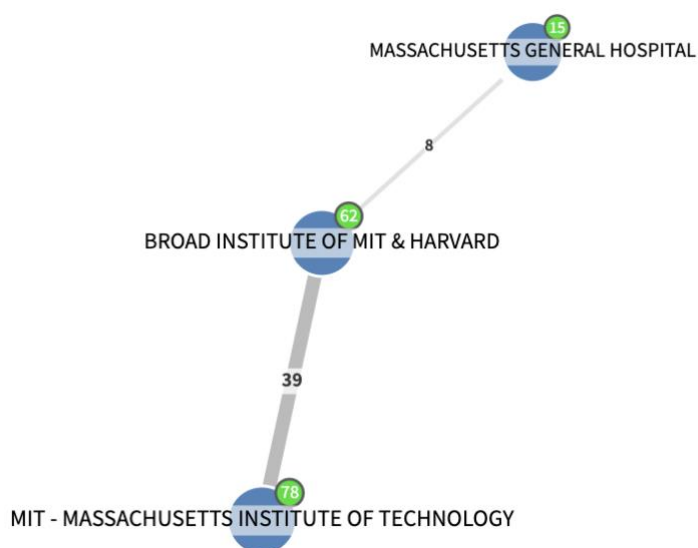


Uno de los vínculos más estratégicos es la conexión con Pfizer (68 patentes), con quien BioNTech ha desarrollado y comercializado conjuntamente la vacuna Comirnaty, una de las primeras vacunas de ARNm aprobadas a nivel mundial contra la COVID-19. Esta colaboración no solo ha sido clave en términos de manufactura y distribución global, sino también en el fortalecimiento del portafolio de propiedad intelectual compartida, evidenciado por las 10 patentes en co-titularidad.

En el ámbito académico y de investigación básica, BioNTech mantiene una relación estrecha con el TRON (Translational Oncology at the University Medical Center Mainz), con 19 patentes compartidas. Esta colaboración indica una interrelación entre el desarrollo de terapias oncológicas personalizadas y las plataformas de ARNm, un enfoque estratégico que posiciona a BioNTech como líder en la convergencia entre inmunoterapia y vacunas terapéuticas. Asimismo, aparece en la red BioNTech RNA Pharmaceuticals, con 23 patentes, empresa filial especializada en el diseño

y optimización de la plataforma tecnológica de ARNm, lo que refuerza la estrategia de verticalización del desarrollo tecnológico.

Se observa un nexo institucional con la Johannes Gutenberg University Mainz, una de las principales universidades alemanas, con vínculos directos a BioNTech y TRON, compartiendo 4 patentes con la empresa y 8 con su spin-off RNA Pharmaceuticals.



El Nodo 3 del análisis de colaboración entre cesionarios en vacunas de ARNm representa un ecosistema académico altamente especializado, centrado en el Broad Institute of MIT & Harvard (62 patentes), que funge como eje articulador entre dos instituciones

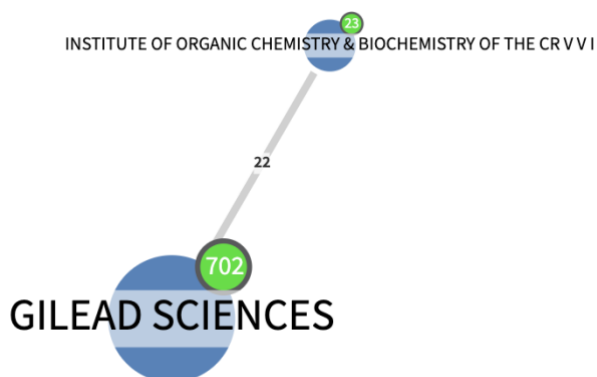
clave del entorno de Boston: el Massachusetts Institute of Technology (MIT) y el Massachusetts General Hospital (MGH). Este nodo muestra un patrón de colaboración eminentemente académico y de investigación biomédica de frontera.

La relación más intensa se da entre el Broad Institute y el MIT, con 39 patentes compartidas, lo que evidencia una profunda integración en actividades de investigación traslacional, especialmente en áreas como edición genética, diseño de plataformas de entrega de ARNm y algoritmos computacionales para optimización de secuencias genéticas. Esta colaboración no sólo es científica, sino estratégica, pues el Broad actúa como un catalizador entre

los avances disruptivos del MIT y su transferencia hacia aplicaciones clínicas o biotecnológicas.

Por otro lado, la conexión con el Massachusetts General Hospital, con 8 patentes compartidas, refleja la orientación clínica del nodo. Estas patentes probablemente corresponden a validaciones preclínicas y ensayos iniciales vinculados a terapias génicas, inmunológicas y vacunas basadas en ARNm. MGH, al ser un hospital universitario de alto nivel, aporta la perspectiva clínica y los recursos para la translación de la investigación básica a soluciones aplicadas en salud.

Este nodo ilustra un ejemplo paradigmático de colaboración académico-clínica altamente intensiva, donde la proximidad geográfica, la convergencia institucional y la complementariedad científica entre MIT, Broad y MGH potencian el desarrollo de tecnologías emergentes. Aunque no se vincula directamente con empresas farmacéuticas en esta red específica, su impacto como motor de descubrimiento y licenciamiento de propiedad intelectual es crítico en el ecosistema global de innovación en vacunas de ARNm.



El Nodo 4 del análisis de colaboración entre cesionarios en vacunas de ARNm revela una relación bilateral destacada entre Gilead Sciences y el Institute of Organic Chemistry and Biochemistry of the Czech Academy of Sciences (IOCB, CR).

Gilead Sciences, con 702 patentes registradas, se posiciona como uno de los actores más relevantes en el escenario global de innovación

farmacéutica, y este nodo muestra una colaboración focalizada pero estratégica con el instituto checo, con 22 documentos de patente compartidos.

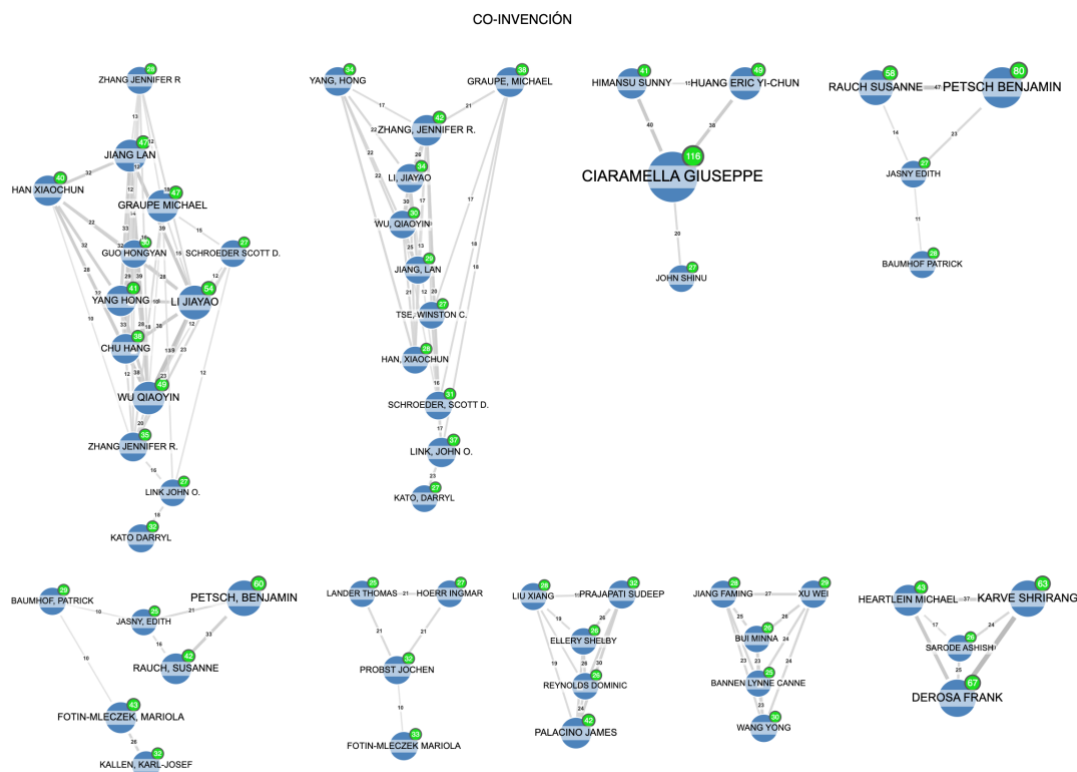
Esta interacción es particularmente significativa, ya que representa una colaboración transatlántica entre una farmacéutica estadounidense líder en terapias antivirales (como las usadas en VIH, hepatitis y COVID-19) y una institución europea con sólida tradición en química orgánica aplicada a biomedicina.

El IOCB es conocido por su excelencia en el diseño de nucleósidos y análogos, lo que sugiere que esta alianza podría estar centrada en el desarrollo de tecnologías de modificación de ARNm, nucleótidos sintéticos o formulaciones antivirales avanzadas, que son componentes clave en la optimización de vacunas de ARNm.

Aunque este nodo muestra una estructura más cerrada y bilateral comparada con los nodos de tipo ecosistema como el de Moderna o BioNTech, su intensidad tecnológica es evidente. La colaboración entre Gilead e IOCB podría estar orientada tanto a la investigación como al licenciamiento de compuestos críticos para la eficacia, estabilidad o administración de vacunas y terapias génicas basadas en ARNm.

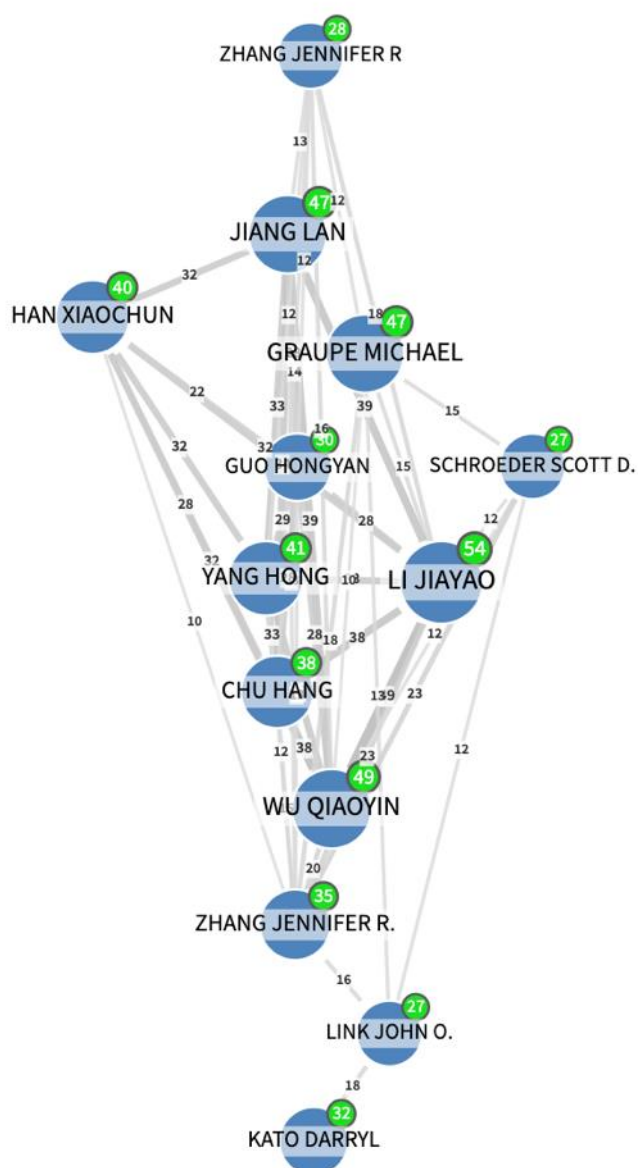
El Nodo 4 refleja una colaboración internacional de alta especialización, en donde Gilead Sciences capitaliza capacidades científicas de vanguardia del sector académico europeo para reforzar su portafolio de propiedad intelectual en el terreno emergente de las vacunas y terapias de ARN mensajero.

Redes de colaboración en co-inventión



La siguiente ilustración representa un análisis de redes de co-inventión en el ecosistema de patentes de vacunas de ARNm, con enfoque en un grupo intensamente colaborativo con enfoque en química medicinal y formulación genética avanzada.

Nodo 1 superior izquierda, representa un inventor involucrado en patentes de ARNm. El número dentro del nodo (en verde) indica la cantidad total de documentos de patente en los que figura como inventor.



- Li Jiayao: 54 patentes
- Wu Qiaoyin: 49 patentes
- Yang Hong: 41 patentes
- Jiang Lan y Graupe Michael: 47 patentes cada uno

Aristas o las líneas que conectan nodos representan patentes compartidas (co-inventoría). El grosor de cada línea y el número al lado indican cuántas veces han colaborado los inventores en documentos conjuntos.

- Wu Qiaoyin y Li Jiayao tienen 38 patentes en común.
- Guo Hongyan y Chu Hang comparten 33.

- Graupe Michael y Yang Hong colaboraron en 28.

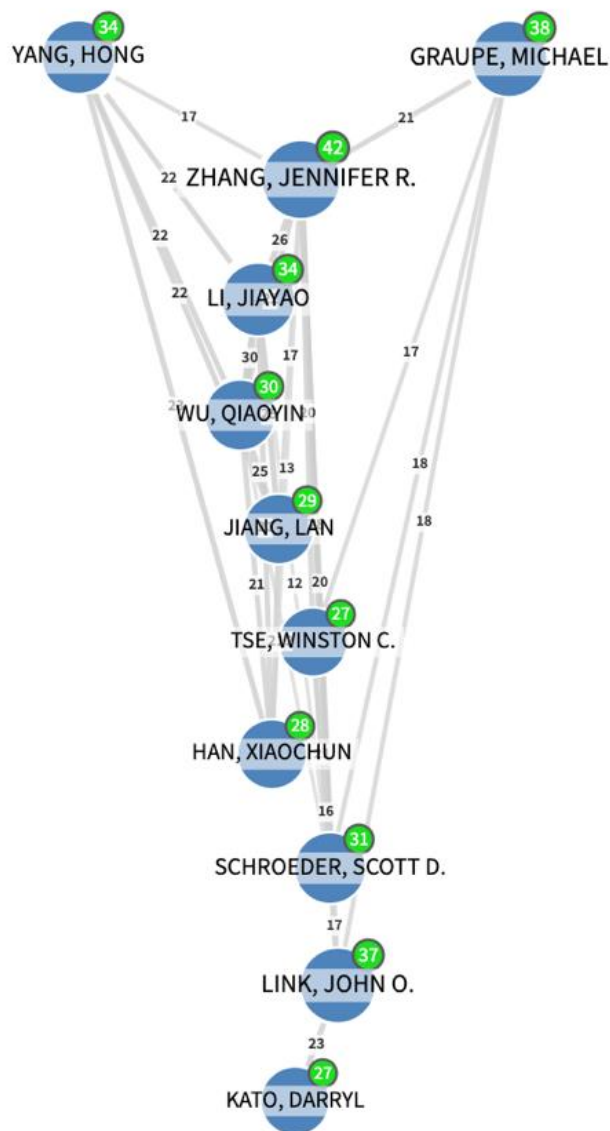
Li Jiayao, Wu Qiaoyin y Graupe Michael funcionan como hubs centrales de conocimiento, apareciendo conectados con al menos 6-8 colegas con alta frecuencia de colaboración. Este patrón es típico de investigadores con funciones coordinadoras, liderazgo técnico o experiencia transversal.

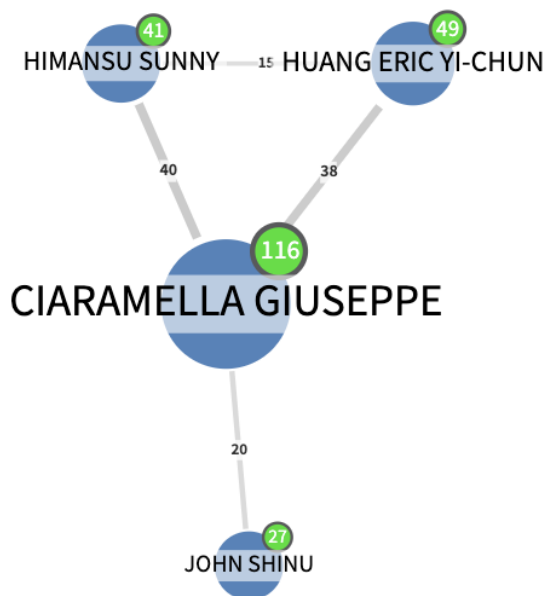
Nodo 2, Ubicada en la zona superior izquierda central del grafo, Zhang Jennifer R. conecta fuertemente con inventores de ambos lados del grafo:

- Del lado izquierdo: Yang Hong, Li Jiayao, Wu Qiaoyin
- Del lado derecho: Michael Graupe, Scott Schroeder, John Link

Tiene enlaces de alta intensidad con:

- Li Jiayao (26 coinvenciones): indica una estrecha colaboración técnica, posiblemente en desarrollo de formulaciones lipídicas o estrategias de entrega.
- Wu Qiaoyin (22), Yang Hong (22), Jiang Lan (13): refuerzan su rol dentro del clúster técnico con foco en química medicinal y plataformas de liberación.
- Graupe Michael (21), Schroeder Scott D. (16), Link John O. (17): la integran también a un segundo bloque con enfoque más ingenieril o escalado de procesos.





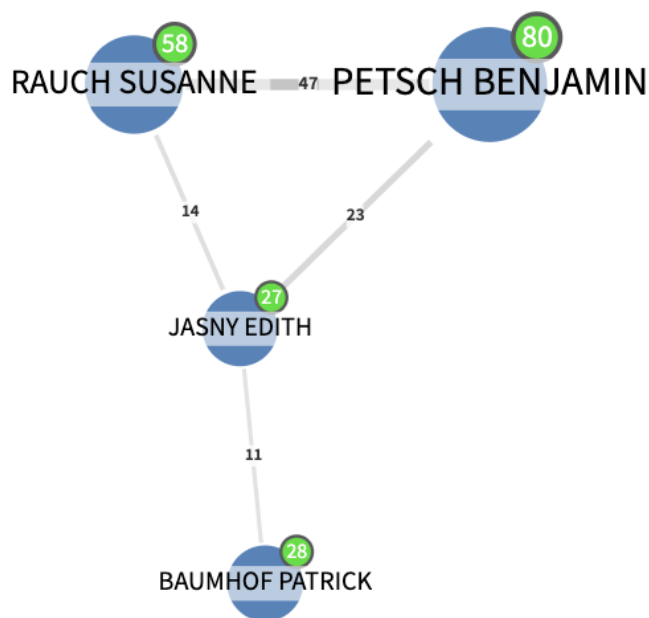
Tercer nodo 116 patentes lo sitúan como un referente internacional, posiblemente vinculado a liderazgo científico en empresas como Moderna Inc., donde se ha consolidado el desarrollo más amplio de tecnología ARNm con aplicaciones tanto en vacunas COVID-19 como en oncología personalizada, enfermedades raras y autoinmunes.

Tiene vínculos técnicos muy fuertes con:

- HIMANSU SUNNY (41 patentes en co-invencción, 40 compartidas con Ciaramella): codiseñador recurrente, probablemente coautor de diseños de plataforma de formulación lipídica o secuencias génicas codificantes.
- HUANG ERIC YI-CHUN (49 patentes, 38 en colaboración directa): sugiere participación en mejoras estructurales de nanopartículas lipídicas (LNPs) y procesos de manufactura.
- JOHN SHINU (27 patentes, 20 compartidas): podría estar vinculado a procesos regulatorios o validaciones clínicas de las formulaciones descritas.

Ciaramella Giuseppe representa un nodo eje de liderazgo científico y estratégico, alrededor del cual gira un equipo de inventores especializados.

El cuarto nodo que observamos en esta red de co-inventión de patentes de vacunas de ARNm está centrado en PETSCH BENJAMIN, quien tiene 80 documentos de patente, seguido muy de cerca por RAUCH SUSANNE con 58 patentes. Este grupo conforma un núcleo colaborativo europeo relevante, probablemente asociado a instituciones como CureVac AG.



Principales co-inventores:

- PETSCH BENJAMIN (80) Nodo central del clúster, con vínculo extremadamente fuerte con RAUCH SUSANNE (58): comparten 47 patentes, lo que revela una estrecha colaboración probablemente a lo largo de varias líneas tecnológicas.
- JASNY EDITH (27): colaboración media con 23 patentes compartidas, que indica un rol activo en desarrollo técnico, probablemente formulaciones o validaciones.
- BAUMHOF PATRICK (28): involucrado con 11 co-inventiones junto a Jasny, lo que sugiere una participación en fases específicas (formulación, manufactura, optimización de expresión génica).

A diferencia del nodo de Ciaramella, este equipo muestra una estructura en cadena (PETSCH–JASNY–BAUMHOF), lo que puede indicar un flujo de

trabajo secuencial, típico en estructuras de investigación orientadas a procesos clínicos o de producción.

Benjamin Petsch como líder científico, Susanne Rauch como coinventora experta en diseño molecular o inmunología, y Jasny y Baumhof como soporte en fases de validación o manufactura preclínica. El alto número de patentes conjuntas indica una continuidad estratégica y madurez tecnológica: probablemente no se trata solo de descubrimientos aislados, sino de una plataforma tecnológica patentada en múltiples variaciones, adaptable a diferentes antígenos o condiciones clínicas.

Ensayos clínicos



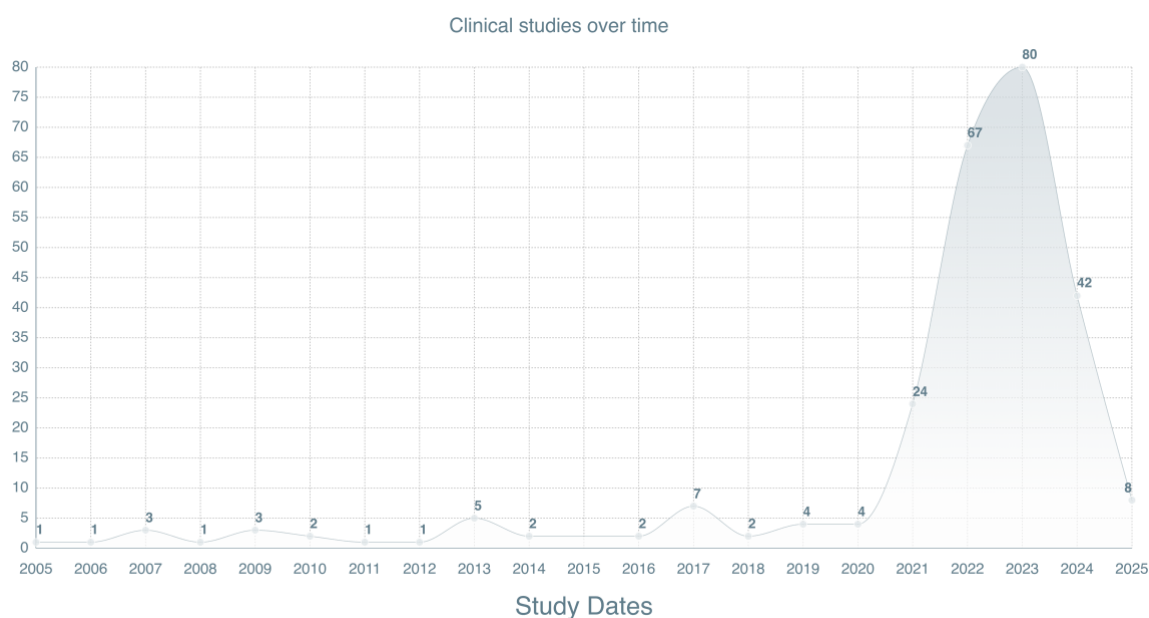
ESPACIO QUÍMICO
RADAR FARMACÉUTICO



ENSAYOS CLÍNICOS

Comportamiento

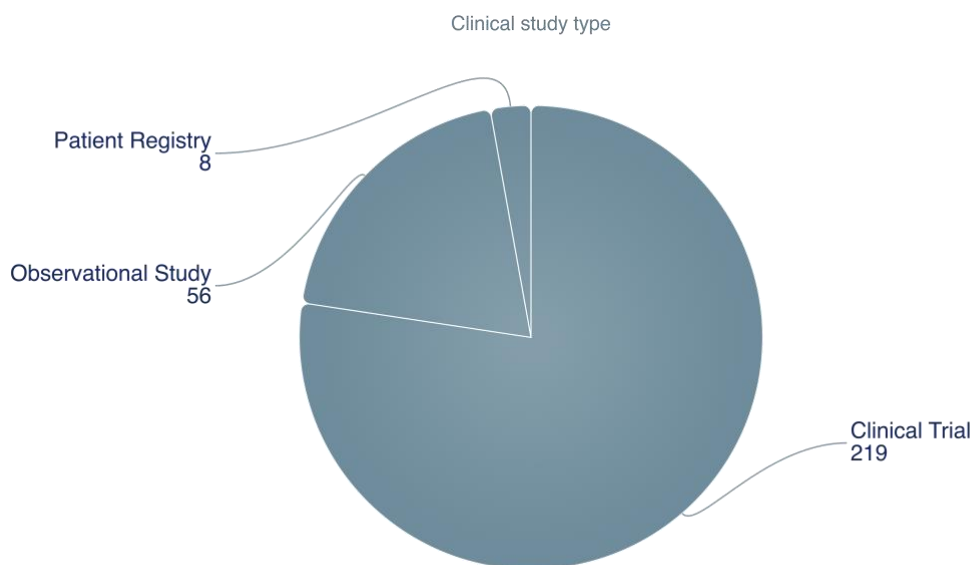
En conjunto, los 283 ensayos distribuidos en las últimas dos décadas no solo demuestran la maduración tecnológica del ARNm, sino que posicionan esta plataforma como un nuevo eje terapéutico de alta prioridad para el sistema biomédico global.



La evolución de los ensayos clínicos relacionados con vacunas o terapias basadas en ARNm muestra una clara aceleración a partir del año 2021, marcando un punto de inflexión en el desarrollo de esta plataforma. Desde 2005 hasta 2020, el número de ensayos se mantuvo en cifras marginales, con menos de cinco estudios por año, lo cual refleja una etapa de investigación básica, optimización preclínica y exploración limitada del ARNm como plataforma terapéutica. Sin embargo, el año 2021 representa un quiebre histórico con 24 ensayos registrados, impulsado principalmente por el éxito sin precedentes de las vacunas contra COVID-19 desarrolladas por Moderna y BioNTech/Pfizer.

Esta validación global y en tiempo récord generó un auge en inversión, regulación expedita y expansión hacia otras indicaciones médicas. En 2022 y 2023 se observa un pico de actividad clínica, con 67 y 80 ensayos respectivamente, lo que indica una diversificación de aplicaciones terapéuticas (más allá de COVID-19) hacia oncología, enfermedades infecciosas distintas y terapias personalizadas.

Aunque en 2024 (42 ensayos) y 2025 (8 ensayos hasta ahora) hay una aparente disminución, esta puede explicarse por dos factores, la consolidación de estudios a gran escala iniciados en años anteriores y un cambio hacia fases más avanzadas (fase II/III), que requieren más tiempo y sujetos.



La gráfica anterior muestra la distribución de los 283 estudios clínicos identificados relacionados con tecnologías de ARNm, desglosados por tipo de estudio. De estos, la gran mayoría corresponde a ensayos clínicos controlados (Clinical Trials), con un total de 219 estudios, lo que representa

aproximadamente el 77% del total. Esta predominancia indica que la plataforma de ARNm está en una fase avanzada de validación científica, donde las hipótesis terapéuticas están siendo sometidas a pruebas rigurosas en poblaciones humanas, a través de diseños experimentales formales (fase I a III).

En segundo lugar, se encuentran los estudios observacionales (56 estudios, 20%), los cuales cumplen un rol complementario al documentar resultados en entornos clínicos reales, monitorear seguridad post-comercialización, o analizar la efectividad comparativa sin intervención directa.

Finalmente, se identifican 8 registros de pacientes (Patient Registry), equivalentes al 3%, lo que revela un esfuerzo emergente por construir bases de datos longitudinales que permitan comprender mejor el impacto, efectos adversos o resultados a largo plazo de las terapias de ARNm, en especial en poblaciones específicas.

Fases clínicas

El análisis de distribución de los ensayos clínicos de tecnologías de ARNm por fase revela un panorama coherente con un ecosistema innovador que se encuentra en consolidación clínica y expansión hacia mercados regulados. El mayor número de estudios se concentra en fase I, con 89 ensayos, lo que indica una fuerte inversión en nuevas formulaciones o indicaciones emergentes, principalmente centradas en evaluar seguridad, tolerabilidad y dosificación inicial. Esta tendencia se complementa con 9 estudios en fase temprana (Early Phase I), que corresponden a pruebas aún preliminares, generalmente realizadas en muy pequeños grupos de sujetos para caracterizar respuestas biológicas iniciales.

FASE DEL ESTUDIO	NÚMERO DE ENSAYOS
Fase temprana	9
Fase 1	89
Fase 2	61
Fase 3	41
Fase 4	22

Posteriormente, se observa una transición lógica hacia fases más avanzadas: 61 estudios en fase 2, orientados a probar eficacia preliminar y ajustar dosis, y 41 en fase 3, que validan la eficacia en poblaciones grandes y establecen comparabilidad con tratamientos estándar. Finalmente, existen 22 ensayos en fase 4, es decir, estudios post-comercialización o de farmacovigilancia, lo que confirma que algunas terapias basadas en ARNm ya han alcanzado etapas regulatorias completas y se encuentran en seguimiento tras su aprobación.

Esta distribución muestra un pipeline robusto, con una base amplia en fases iniciales (fase 1 y 2), pero con suficiente maduración clínica como para justificar estudios fase 3 y fase 4.

Tipo de intervención

El análisis del tipo de intervención clínica en los ensayos relacionados con tecnologías de ARNm muestra una marcada concentración en intervenciones de tipo biológico, lo cual es completamente coherente con la naturaleza de las vacunas y terapias basadas en ARNm.

TIPO DE INTERVENCIÓN	NÚMERO DE ENSAYOS	OBSERVACIONES RELEVANTES
Biológico (Biological)	211	Vacunas, terapias génicas, inmunoterapias
Fármaco (Drug)	48	Tratamientos combinados, coadyuvantes, formulaciones terapéuticas
Otro (Other)	47	Intervenciones no clasificadas convencionalmente
Prueba diagnóstica	12	Diagnóstico molecular, detección de enfermedades

TIPO DE INTERVENCIÓN	NÚMERO DE ENSAYOS	OBSERVACIONES RELEVANTES
Procedimiento médico	5	Intervenciones quirúrgicas o clínicas asociadas
Dispositivo médico	4	Entrega de fármacos, monitoreo o soporte
Conductual	1	Cambio de conducta como intervención
Suplemento dietético	1	Evaluación de suplementos en combinación con ARNm
Radiación	1	Uso de radioterapia en combinación con terapias ARNm

De un total de estudios analizados, 211 ensayos clínicos corresponden a intervenciones biológicas, lo que representa más del 74% del total. Esto confirma que el principal enfoque de estas tecnologías está en productos como vacunas preventivas o terapias génicas diseñadas para inducir respuestas inmunológicas o modificar funciones celulares.

En segundo lugar se encuentran las intervenciones clasificadas como fármacos (Drug), con 48 estudios, que probablemente incluyen el uso de ARNm en formulaciones terapéuticas o como parte de tratamientos combinados. A continuación aparece la categoría Other (Otros) con 47 estudios, que agrupa intervenciones no tradicionales o difíciles de clasificar, como tecnologías emergentes, nuevos métodos de formulación o estrategias novedosas de administración.

Otras categorías con menor representación son: pruebas diagnósticas (12 estudios), procedimientos médicos (5 estudios), dispositivos (4 estudios), y tres categorías con solo 1 estudio cada una: intervención conductual, suplemento dietético y radiación. Esto refleja que el desarrollo clínico con ARNm está centrado principalmente en terapias y vacunas, mientras que las aplicaciones en diagnóstico, dispositivos o estrategias complementarias aún son incipientes.

Este patrón evidencia que el desarrollo clínico en ARNm se orienta de forma predominante hacia el desarrollo biotecnológico de alto impacto, centrado en aplicaciones inmunológicas, terapéuticas y preventivas, en especial para enfermedades infecciosas y cáncer.

Estatus clínico

El análisis del estatus clínico de los ensayos relacionados con tecnologías de ARNm revela un panorama dinámico y en expansión, con una clara predominancia de estudios que ya han concluido, junto con una proporción relevante de investigaciones en curso. De un total de 283 ensayos clínicos analizados, 134 están marcados como completados, lo que representa aproximadamente el 47% del total. Este dato es significativo, ya que refleja una base consolidada de evidencia clínica generada, especialmente a partir del año 2021, con el auge de las vacunas de ARNm contra COVID-19.

ESTATUS DEL ENSAYO	NÚMERO DE ESTUDIOS	INTERPRETACIÓN CLAVE
Completado	134	Evidencia clínica consolidada (47% del total)
Reclutando	54	Ensayos en curso con reclutamiento activo
Activo, no reclutando	37	En marcha, sin nuevos pacientes (etapa de aplicación/análisis)
Aún no reclutando	26	Ensayos planificados a iniciar próximamente
Retirado	15	Cancelados antes de iniciar o en etapas tempranas
Terminado	13	Suspendidos por razones clínicas o administrativas
Estado desconocido	3	Falta de actualización pública del estado
Inscripción por invitación	1	Reclutamiento selectivo y dirigido

En segundo lugar, 54 ensayos están actualmente en reclutando pacientes, lo que indica un ecosistema de investigación activo que sigue ampliando las aplicaciones terapéuticas del ARNm. Además, 37 ensayos figuran como activos pero no reclutando, lo cual sugiere que están en etapas intermedias

de desarrollo, posiblemente ya aplicando las intervenciones o en fase de análisis de resultados.

Otro grupo importante son los 26 estudios aún no reclutan, que evidencia un pipeline clínico en expansión futura. Sumados a los anteriores, más de 40% de los ensayos están en fases activas o por iniciar, consolidando el crecimiento sostenido de esta plataforma tecnológica.

En contraste, existen 15 ensayos retirados y 13 ensayos terminados prematuramente, lo cual representa un 10% del total. Estas interrupciones pueden deberse a problemas regulatorios, falta de eficacia, eventos adversos o cambios en las estrategias corporativas, y son indicadores naturales en el ciclo de desarrollo clínico, especialmente en tecnologías emergentes.

Finalmente, 3 ensayos presentan estatus desconocido y 1 está en la modalidad menos común donde el reclutamiento es dirigido a grupos específicos.

Principals organizaciones

El análisis de las organizaciones con mayor número de ensayos clínicos inscritos en tecnologías de ARNm permite identificar a los principales actores institucionales, farmacéuticos y académicos que están liderando la validación científica de esta plataforma emergente. Este liderazgo global está fuertemente dominado por un pequeño grupo de empresas biotecnológicas pioneras y organismos públicos de salud, destacando la profunda colaboración entre industria, academia y gobierno.



ORGANIZACIÓN	ENSAYOS CLÍNICOS
BioNTech	25
National Institutes of Health (NIH)	21
U.S. Department of Health & Human Services	21
Pfizer	16
University of Oxford	7
Stemirna	7
AP-HP (Assistance Publique – Hôpitaux de Paris)	6
Chinese Academy of Medical Sciences	5
Sanofi	5
Sheba Medical Center	5
The University of Hong Kong	4
Moderna Therapeutics	4
McMaster University	4
Abogen Biosciences	3
Johnson & Johnson	3
Janssen Pharmaceutica NV	3
Inserm	3
Doherty Institute	3
German Centre for Infection Research	3
Medizinische Universität Wien	3
Lausanne University Hospital	3
Université de Bordeaux	3
Murdoch Children's Research Institute (MCRI)	3
Sir Run Run Shaw Hospital	3
Sapienza University of Rome	2

A la cabeza se encuentra BioNTech, con 25 ensayos clínicos registrados, reflejando su papel protagónico en el desarrollo de vacunas de ARNm, particularmente durante y después de la pandemia por COVID-19. Le siguen dos agencias clave del gobierno de Estados Unidos: el National Institutes of Health (NIH) y el U.S. Department of Health & Human Services (HHS), ambas con 21 ensayos cada una, lo que demuestra un fuerte respaldo institucional y presupuestal a esta tecnología desde el ámbito público y regulatorio.

Pfizer, socio estratégico de BioNTech en la vacuna Comirnaty®, registra 16 ensayos, lo que confirma su involucramiento no solo en la comercialización,

sino también en el diseño de nuevos estudios clínicos con formulaciones ARNm. Otras universidades de renombre como la University of Oxford y hospitales como el Sheba Medical Center (Israel) o el AP-HP (Francia) también figuran activamente, señalando una tendencia creciente hacia la internacionalización y descentralización de los ensayos clínicos.

En cuanto a Asia, destacan Stemirna, la Chinese Academy of Medical Sciences, y The University of Hong Kong, indicando que China se posiciona como un actor emergente clave en investigación clínica de vacunas ARNm. Por su parte, Moderna Therapeutics, pionera junto con BioNTech en la tecnología de ARNm, aparece con solo 4 ensayos clínicos, lo cual puede deberse a que muchos de sus estudios están registrados directamente bajo nombres de hospitales o patrocinadores secundarios.

También tienen presencia otras entidades como Sanofi, McMaster University, Abogen Biosciences, Johnson & Johnson, Janssen Pharmaceutica, Inserm, y Doherty Institute, que conforman una red diversificada de actores europeos, canadienses, y australianos, lo cual subraya el carácter verdaderamente global del desarrollo clínico en este campo.

Principales líneas terapéuticas

La clasificación de los ensayos clínicos de vacunas de ARNm por área terapéutica muestra una clara priorización en las enfermedades infecciosas respiratorias, seguida de una expansión hacia la oncología y otras enfermedades infecciosas.

1. Infecciosas respiratorias (COVID-19 / SARS-CoV-2) – 160 estudios. Este grupo representa el núcleo del desarrollo clínico actual en vacunas de ARNm, con aproximadamente el 60% del total de estudios. Incluye ensayos

que abarcan desde la fase temprana de investigación en 2020 hasta desarrollos más recientes orientados a:

- Formulaciones bivalentes o multivariantes para responder a nuevas cepas como Ómicron o Delta.
- Evaluación de duración de inmunidad y necesidad de refuerzos, con intervalos variables y diferentes plataformas ARNm.
- Estudios en cohortes específicas: niños, adultos mayores, embarazadas, pacientes inmunocomprometidos y con comorbilidades.
- Comparación entre esquemas heterólogos y homólogos de vacunación.
- Ensayos de efectividad en campo post-aprobación (fase IV), y combinación con otras vacunas como Influenza.

El ecosistema clínico ARNm no sólo respondió rápidamente al SARS-CoV-2, sino que ahora se consolida como una plataforma adaptable para vacunas respiratorias emergentes, respaldada por alta capacidad de reformulación, validación y escalamiento industrial.

2. Oncológicas – 43 estudios. En el segundo lugar en volumen, esta categoría marca un cambio hacia el uso del ARNm como plataforma de inmunoterapia personalizada contra el cáncer. Se identifican aplicaciones dirigidas a:

- Melanoma avanzado: uso de neoantígenos tumorales personalizados, codificados por ARNm, que se combinan con inhibidores de checkpoint como anti-PD-1.

- Cáncer de próstata y páncreas: indicaciones refractarias a otros tratamientos, con vacunas basadas en secuencias tumorales específicas.
- Tumores digestivos y sólidos avanzados: estudios exploratorios en combinación con terapias estándar o agentes inmunomoduladores.

Estas vacunas están formuladas para inducir una respuesta inmune específica contra antígenos tumorales únicos del paciente, representando una frontera tecnológica en la medicina de precisión y ofreciendo alternativas no invasivas y personalizadas a la quimioterapia convencional.

3. Otras infecciosas (VIH, Ébola, Influenza) – 23 estudios. Este conjunto incluye patógenos de alta prioridad sanitaria global, con ensayos orientados a prevenir o controlar infecciones virales complejas:

- VIH/SIDA: se exploran vacunas terapéuticas que inducen respuestas de células T CD8+ y control virológico sin necesidad de antirretrovirales permanentes.
- Ébola: se investigan vacunas de ARNm monovalentes y multivalentes como respuesta rápida ante brotes esporádicos.
- Influenza estacional y pandémica: estudios que aprovechan la flexibilidad de diseño ARNm para anticipar o responder a variantes anuales del virus, con esquemas de vacunación acelerada.

Se visualiza el potencial del ARNm para actuar como plataforma universal de respuesta rápida a brotes y epidemias, especialmente cuando el tiempo de desarrollo es crítico.

4. Eventos adversos / Seguridad – 3 estudios. Aunque menos numerosos, estos ensayos son críticos para la evaluación post-aplicación de eventos

adversos inmunológicos como la miocarditis postvacunal, particularmente en jóvenes y adolescentes. Su objetivo es:

- Caracterizar la incidencia, severidad y reversibilidad del evento.
- Evaluar ajustes en la formulación o en el esquema de dosificación.
- Validar herramientas diagnósticas de vigilancia activa.

Este tipo de estudio tiene un fuerte peso regulatorio, ya que condiciona la aceptación pública, aprobación de refuerzos y recomendaciones oficiales de uso.

5. Otras condiciones – 54 estudios. Esta categoría incluye ensayos más exploratorios y de nicho, entre ellos:

- Vacunas contra el Zika, RSV, CMV o Chikungunya, en fase temprana.
- Vacunas terapéuticas para enfermedades autoinmunes, como esclerosis múltiple o lupus.
- Intervenciones profilácticas contra infecciones hospitalarias o tropicales.

También se incluyen estudios sobre nuevas plataformas tecnológicas como:

- Inhaladores de ARNm o parches transdérmicos.
- Combinaciones ARNm + adyuvantes de última generación.
- Ensayos clínicos en países en desarrollo como validación para escalamiento global.

Este bloque es estratégico para detectar áreas emergentes, indicaciones huérfanas y oportunidades de colaboración académica o licenciamiento temprano.

Redes de Colaboración



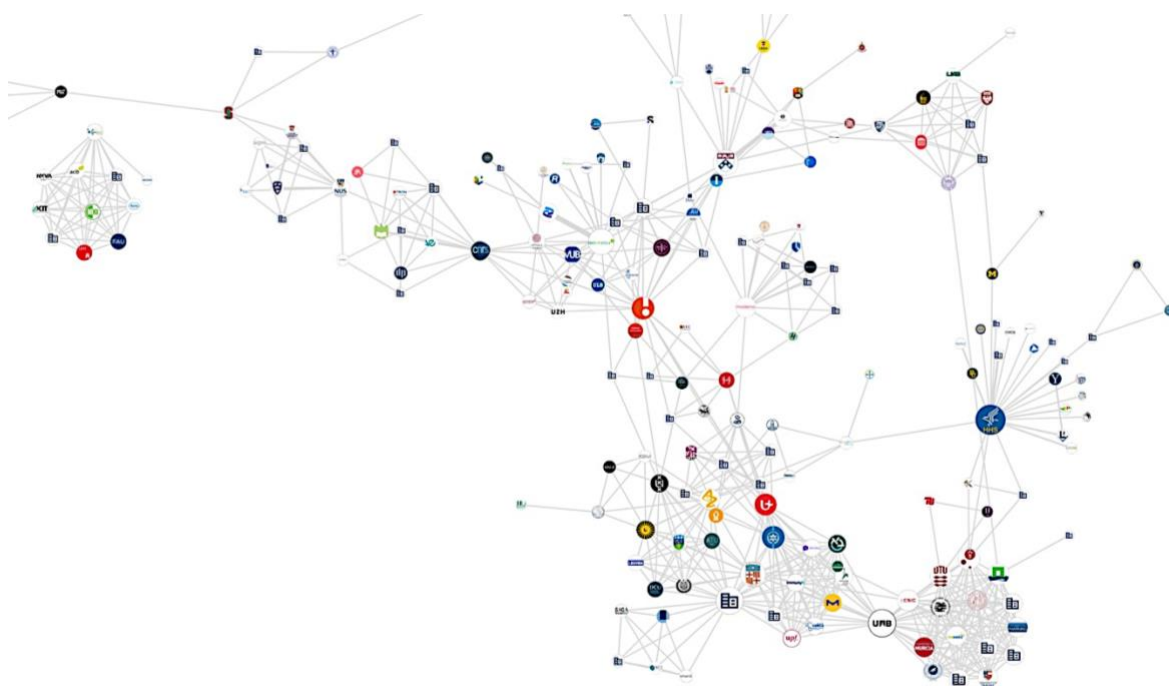
ESPACIO QUÍMICO
RADAR FARMACÉUTICO



REDES DE COLABORACIÓN

El gráfico destaca las principales características de las redes de colaboración en torno a la tecnología. Esta red está compuesta por las relaciones forjadas mediante colaboraciones de investigación, proyectos conjuntos, propiedad intelectual común y ensayos clínicos conjuntos. Los indicadores muestran si la red es extensa, si es internacional o local y, finalmente, si es académica, industrial o mixta.

La imagen presentada corresponde a un mapa de redes de colaboración institucional, elaborado a partir del análisis de interacciones formales entre organizaciones vinculadas a la investigación, desarrollo e innovación (I+D+i) en tecnologías relacionadas con vacunas de ARNm. Aunque el universo completo incluye más de 1,689 organizaciones únicas, el gráfico muestra únicamente a aquellas entidades que mantienen vínculos de cooperación activa con al menos otra institución, destacando la densidad y estructura del ecosistema colaborativo global.



En este entramado se encuentran representadas universidades de élite, centros de investigación biomédica, agencias de salud pública, hospitales académicos, empresas farmacéuticas y biotecnológicas, así como laboratorios especializados en desarrollo clínico y tecnológico. Las conexiones visualizadas reflejan relaciones de colaboración verificadas, tales como ensayos clínicos conjuntos, cesión de patentes, licencias cruzadas, publicaciones compartidas o consorcios científicos internacionales.

Este tipo de análisis de redes permite identificar:

- Nodos centrales o hubs que actúan como motores de innovación
- Puentes estratégicos entre distintos sectores

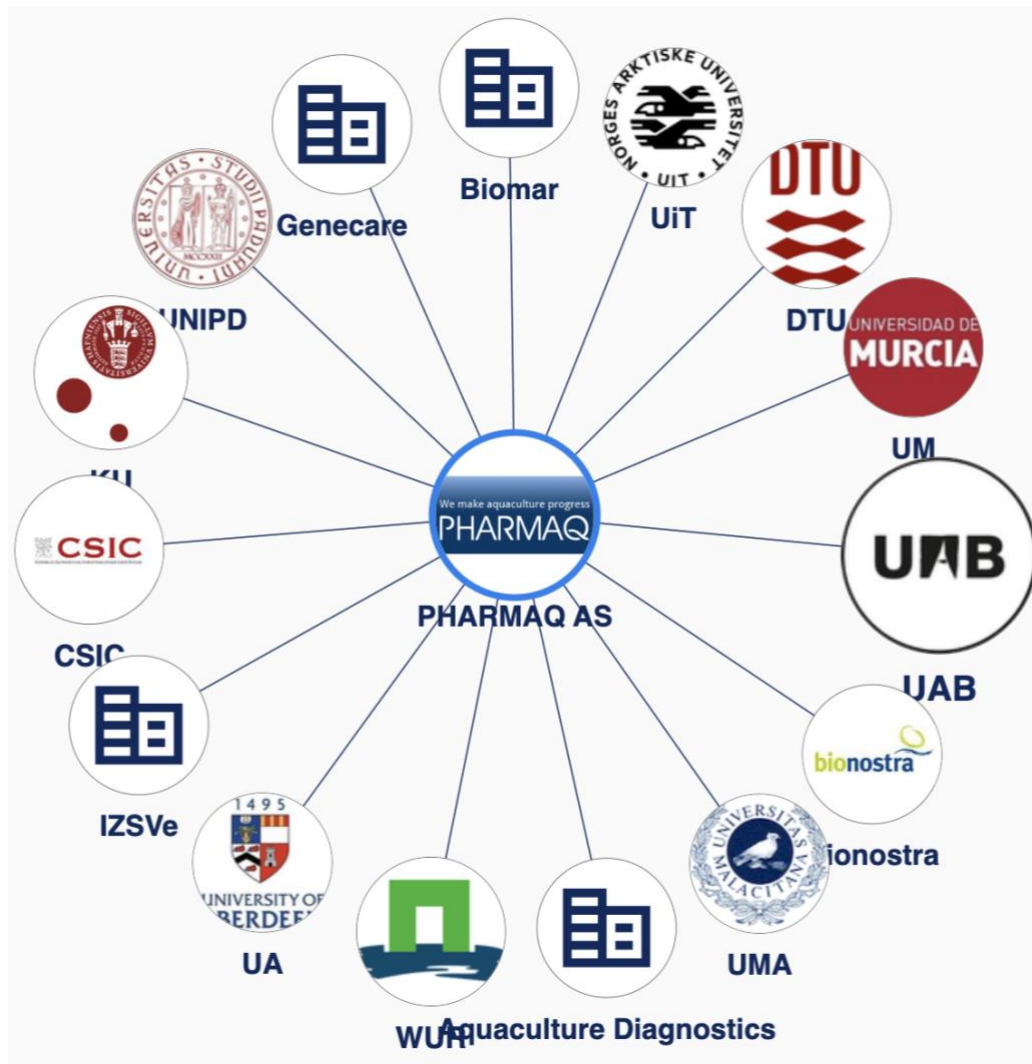
En las siguientes secciones se realizará un desglose más preciso de los nodos clave, permitiendo analizar quién colabora con quién, la intensidad de las relaciones y las áreas tecnológicas prioritarias en esta red global de ciencia aplicada al ARNm.

Primer nodo

El primer nodo destacado en esta red de colaboración es PHARMAQ AS, una empresa especializada en salud animal y biotecnología acuícola, que actúa como el eje central de un conjunto de colaboraciones estratégicas con múltiples universidades, centros de investigación y entidades privadas en Europa. Este nodo refleja un modelo de innovación abierta, altamente orientado a la investigación aplicada en salud acuícola, vacunas biotecnológicas y desarrollo diagnóstico.

PHARMAQ AS mantiene relaciones uno-a-uno con al menos 15 organizaciones distintas, cada una representando una conexión directa, lo cual sugiere participación en proyectos colaborativos bilaterales,

probablemente en consorcios financiados por programas como Horizon Europe o iniciativas nacionales de investigación.



Actores conectados Universidad Autónoma de Barcelona (UAB), Universidad de Murcia (UM), Universidad de Aberdeen (UA), Universidad de Málaga (UMA), Universidad de Padua (UNIPD), Universidad del Ártico de Noruega (UiT), Universidad Técnica de Dinamarca (DTU), Universidad de Wageningen (WUR).

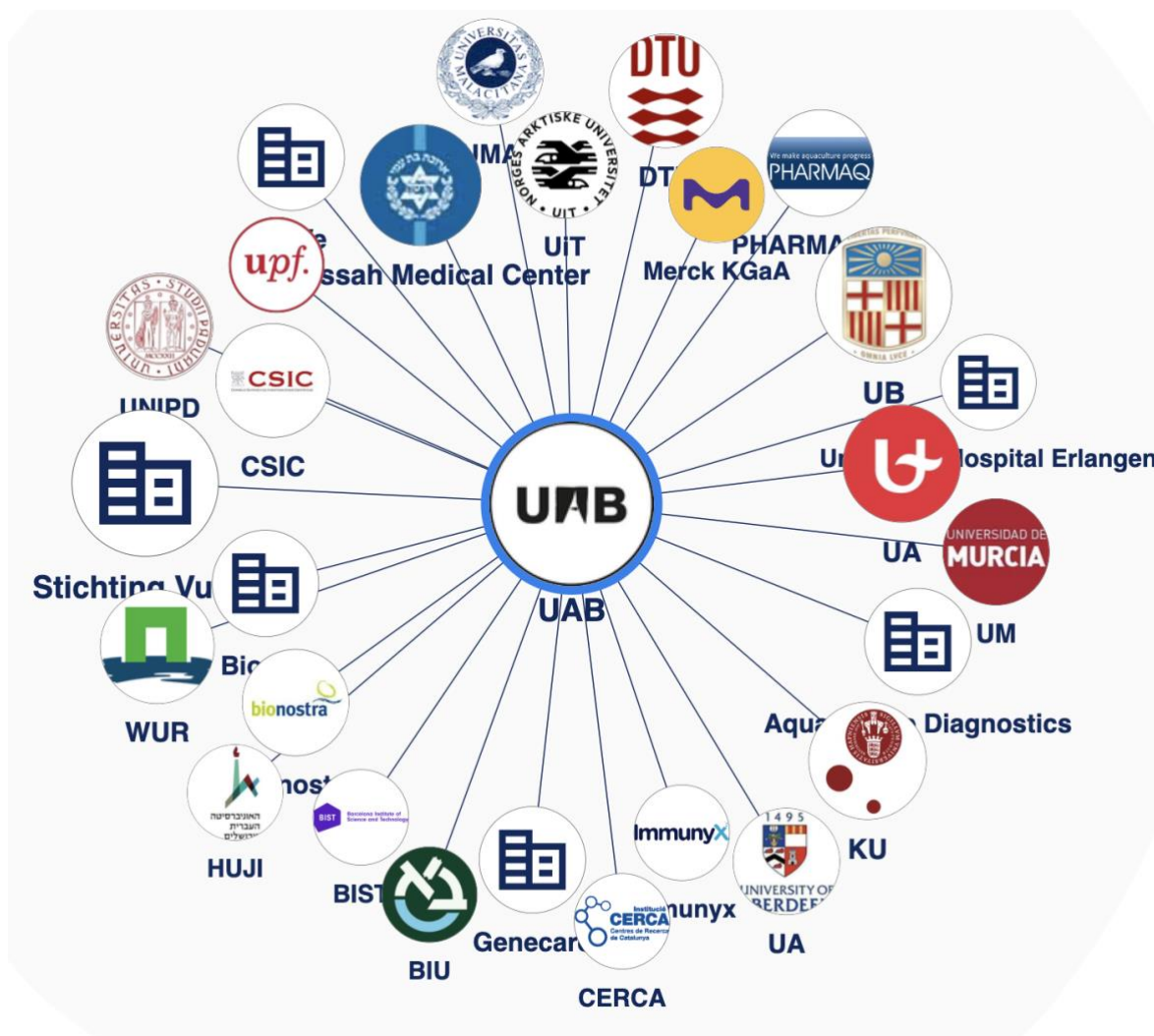
- Centros de investigación y tecnológicos: CSIC (España), IZSve (Italia), Bionostra, Genecare, Aquaculture Diagnostics.
- Organismos marinos o especializados: IOMAR, KU (Universidad de Copenhagen).
- La red tiene una fuerte base europea, especialmente concentrada en países como España, Noruega, Italia, Reino Unido, Países Bajos y Dinamarca, lo que refuerza la vocación internacional de PHARMAQ en I+D para la salud animal acuática.

Segundo nodo

El segundo nodo corresponde a la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB), la cual se posiciona como uno de los centros neurálgicos más relevantes en la red de colaboración multilateral en biotecnología, salud y vacunas. Este nodo presenta una densidad colaborativa destacada, con al menos 26 organizaciones conectadas directamente, lo que refleja su papel activo en investigación traslacional, ensayos clínicos y desarrollo de tecnologías innovadoras.

- Universidades y centros académicos: Universidad de Murcia (UM), Universidad de Málaga (UMA), Universidad de Aberdeen (UA), Universidad de Padua (UNIPD), Universitat Pompeu Fabra (UPF), Universidad de Barcelona (UB), Hebrew University of Jerusalem (HUJI), Friedrich–Alexander University Erlangen–Nürnberg (FAU), Ben-Gurion University of the Negev (BGU), UiT – The Arctic University of Norway.
- Centros de investigación: CSIC (España), CERCA Institute, BIST (Barcelona Institute of Science and Technology), BIU (Bar-Ilan University), Stichting WUR (Wageningen University & Research), DTU (Technical University of Denmark).

- Entidades privadas y empresas biotecnológicas: Merck KGaA, PHARMAQ AS, Bionostra, Genecare, Immunyx, Aquaculture Diagnostics.
- Hospitales y centros médicos: Hadassah Medical Center (Israel).



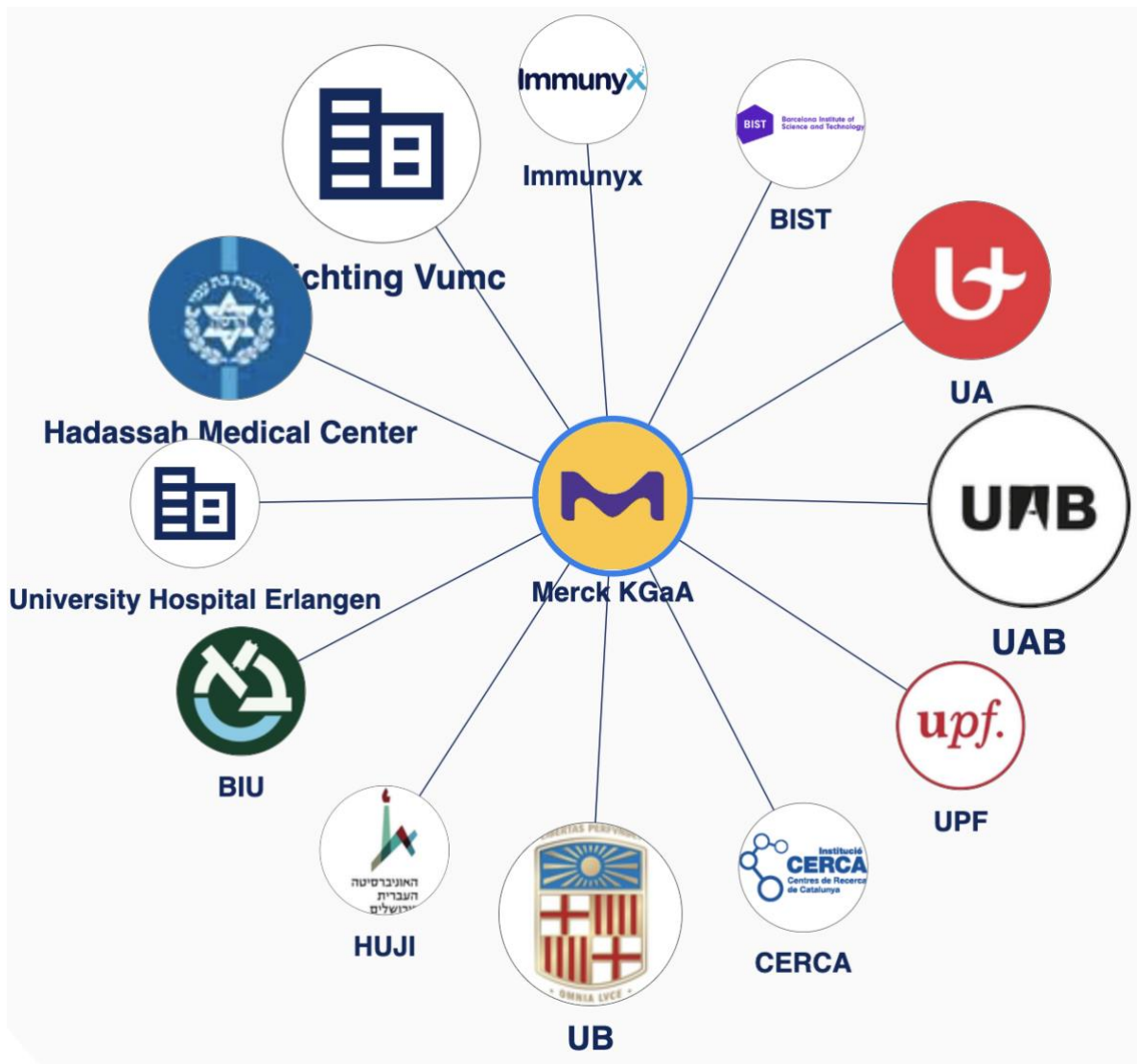
Dada la diversidad de actores, las colaboraciones abarcan desde el desarrollo de vacunas de ARNm, terapias inmunológicas y biomarcadores, hasta innovación en salud animal, ensayos clínicos, sistemas de liberación lipídica (LNP) y diagnóstico molecular.

La Universitat Autònoma de Barcelona (UAB) emerge como un nodo catalizador de innovación científica, integrando el mundo académico, clínico e industrial. Su papel como eje de articulación permite dinamizar plataformas colaborativas en vacunas ARNm, salud global, inmunoterapia y biotecnología, consolidando una red internacional robusta con fuerte potencial de transferencia tecnológica. Esta arquitectura institucional es clave para detectar oportunidades tecnológicas emergentes y consolidar liderazgo científico a nivel global.

Tercer nodo

El tercer nodo está protagonizado por Merck KGaA, una de las empresas farmacéuticas y químicas más relevantes de Europa, que aquí se posiciona como un eje integrador entre instituciones académicas, centros de investigación y hospitales clínicos de Europa e Israel. Este nodo muestra al menos 12 conexiones directas, reflejando una estrategia clara de innovación abierta y colaboración internacional para el desarrollo de tecnologías avanzadas, especialmente en el ámbito biomédico y terapias emergentes.

- Universidades y centros académicos: UAB – Universitat Autònoma de Barcelona, UB – Universitat de Barcelona, UPF – Universitat Pompeu Fabra, UA – Universidad de Aberdeen, HUJI – Hebrew University of Jerusalem, BIU – Bar-Ilan University, University Hospital Erlangen (FAU).
- Centros de investigación y consorcios: CERCA – Institución que agrupa centros de investigación en Cataluña, BIST – Barcelona Institute of Science and Technology.



- Hospitales y centros clínicos: Hadassah Medical Center (Israel), Stichting VUMC – Amsterdam UMC.
- Empresas de base tecnológica: Immunyx – Biotecnológica israelí enfocada en modulación inmunológica avanzada.

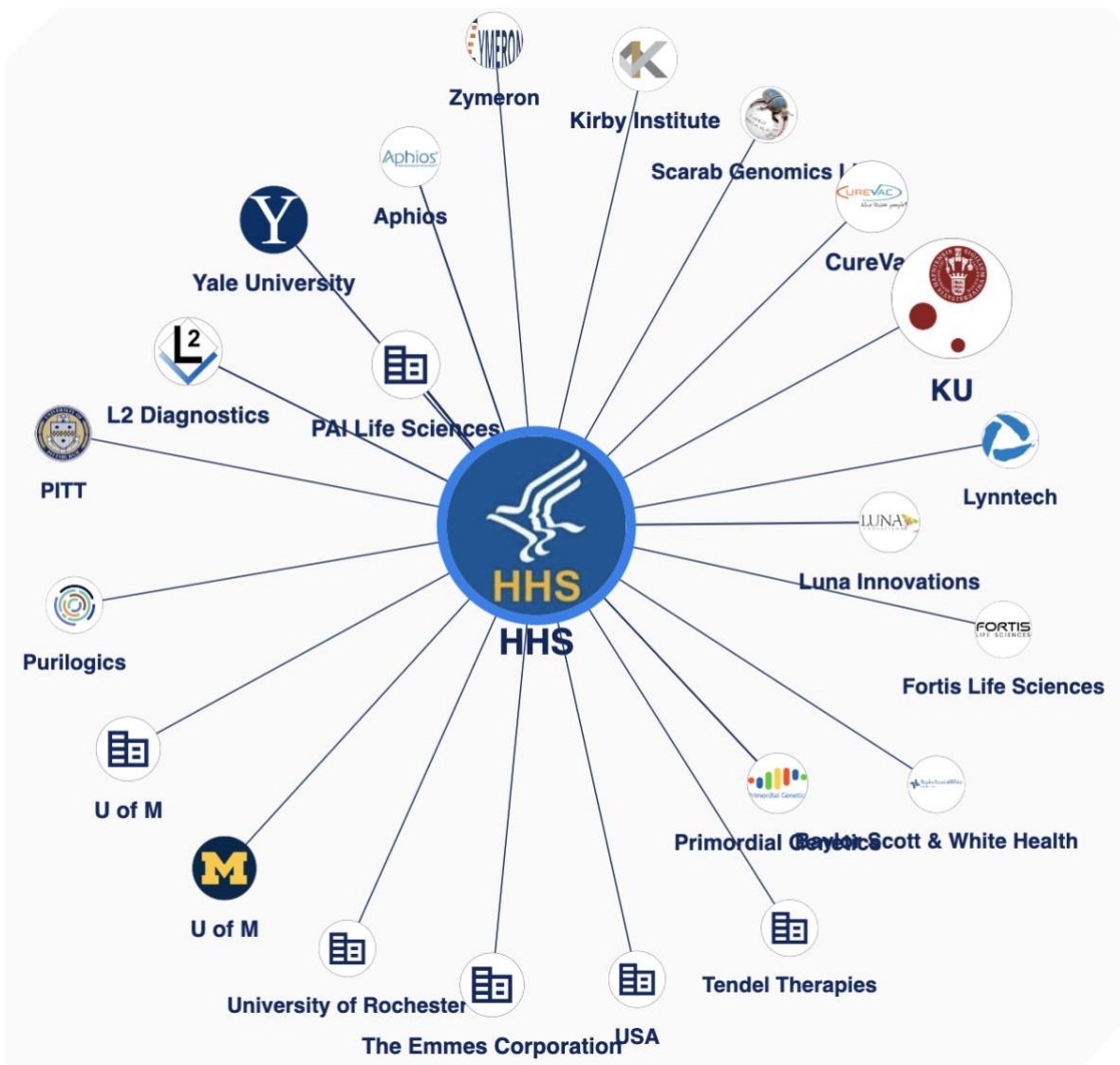
Este nodo muestra cómo Merck KGaA implementa una estrategia global de colaboración científica y clínica, actuando como un conector entre biotecnología disruptiva israelí, ciencia europea de frontera y centros

académicos catalanes. La diversidad institucional del nodo sugiere el desarrollo de tecnologías emergentes, como vacunas personalizadas, terapia génica y formulaciones innovadoras, fundamentales para nuevas plataformas terapéuticas en salud humana. Esta red evidencia el enfoque estratégico de Merck hacia una innovación traslacional y colaborativa, clave para el desarrollo de terapias de próxima generación.

Cuarto nodo

El cuarto nodo está protagonizado por el Department of Health and Human Services (HHS) de los Estados Unidos, que funge como un actor gubernamental central en la red de innovación biomédica y biotecnológica, particularmente en proyectos de vacunas y terapias basadas en ARNm. Este nodo evidencia la capacidad del sector público estadounidense para articular una red compleja y diversa de colaboradores, que abarca desde universidades de élite hasta startups tecnológicas y empresas farmacéuticas emergentes.

- Universidades de investigación avanzada: Yale University, University of Michigan (U of M), University of Rochester, University of Kansas (KU), University of Pittsburgh (PITT).
- Instituciones clínicas y hospitales: Baylor Scott & White Health, The Emmes Corporation (CRO), USA (como etiqueta de colaboración pública-privada).
- Empresas biotecnológicas y farmacéuticas: CureVac (líder global en vacunas de ARNm) Tendel Therapies, Fortis Life Sciences, Lyntech, Zymeron, Aphios, Scarab Genomics, Luna Innovations, Primordial Genetics, L2 Diagnostics, Puriologics PAL Life Sciences (empresa de servicios biomédicos).
- Centros internacionales de investigación: Kirby Institute (Australia)



La participación del HHS con más de 20 socios indica una estrategia robusta de innovación abierta, transferencia tecnológica y fortalecimiento de capacidades nacionales e internacionales. La inclusión de actores como CureVac refleja la integración de aliados europeos en iniciativas estratégicas, mientras que la presencia de múltiples startups y centros clínicos apunta a un enfoque ágil, orientado a acelerar productos desde fase preclínica hasta aplicaciones clínicas.

Este nodo representa el rol estratégico del gobierno estadounidense como orquestador de redes de colaboración en salud, donde actúa como puente entre el conocimiento académico, la industria emergente, y los sistemas de salud pública y defensa nacional. Además, su colaboración internacional (p. ej. CureVac y Kirby Institute) denota un enfoque transnacional frente a amenazas sanitarias globales, como pandemias o enfermedades infecciosas emergentes.

Quinto nodo

El quinto nodo corresponde a AstraZeneca, una de las compañías biofarmacéuticas más importantes a nivel global, que desempeña un rol estratégico en la red de colaboración científica internacional para el desarrollo de tecnologías emergentes, incluyendo las basadas en ARN mensajero (ARNm). En este mapa de interacciones, AstraZeneca aparece como un nodo central que conecta con 16 instituciones académicas, clínicas y empresariales de Europa y otros países, lo cual evidencia su apuesta por una innovación colaborativa descentralizada.

- Empresas biotecnológicas y farmacéuticas: CureVac pionera en vacunas de ARNm, con una colaboración centrada en inmunoterapia y tecnologías vacunales. PHARMAJET: especialista en dispositivos de entrega intradérmica, lo que sugiere un enfoque en tecnologías de administración de vacunas. siTOOLS Biotech: enfocada en silenciamiento génico y control de expresión, útil en terapias dirigidas.
- Universidades europeas de primer nivel: KU Leuven, UvA (Universidad de Ámsterdam), UCD (University College Dublin), UU (Universidad de Utrecht), SDU (University of Southern Denmark), UNIMI (Universidad de

Milán), UB (Universidad de Barcelona), DCU (Dublin City University), Chalmers University of Technology

- Centros de salud e investigación traslacional: Stichting Vumc, IT Sligo (ahora parte de Atlantic Technological University): participación en investigación aplicada y validación técnica de nuevas plataformas.
- Empresas farmacéuticas aliadas: Boehringer Ingelheim.



La estructura del nodo muestra una orientación europea predominante, con un equilibrio entre ciencia básica (universidades), desarrollo tecnológico

(biotech) y validación clínica (hospitales). La inclusión de actores especializados en delivery (PharmaJet), silenciamiento génico (siTOOLS), e inmunoterapias (CureVac) indica una estrategia avanzada de desarrollo de plataformas modulares, preparadas para distintas aplicaciones terapéuticas y poblacionales.

Este nodo confirma que AstraZeneca se posiciona como un líder en el ecosistema de innovación biomédica del ARNm, integrando capacidades académicas, clínicas e industriales para construir una red de innovación robusta. Su arquitectura de colaboración sugiere que sus intereses van más allá del COVID-19, apuntando a terapias personalizadas, vacunas preventivas y tratamientos dirigidos, claves en el futuro inmediato de la biomedicina.

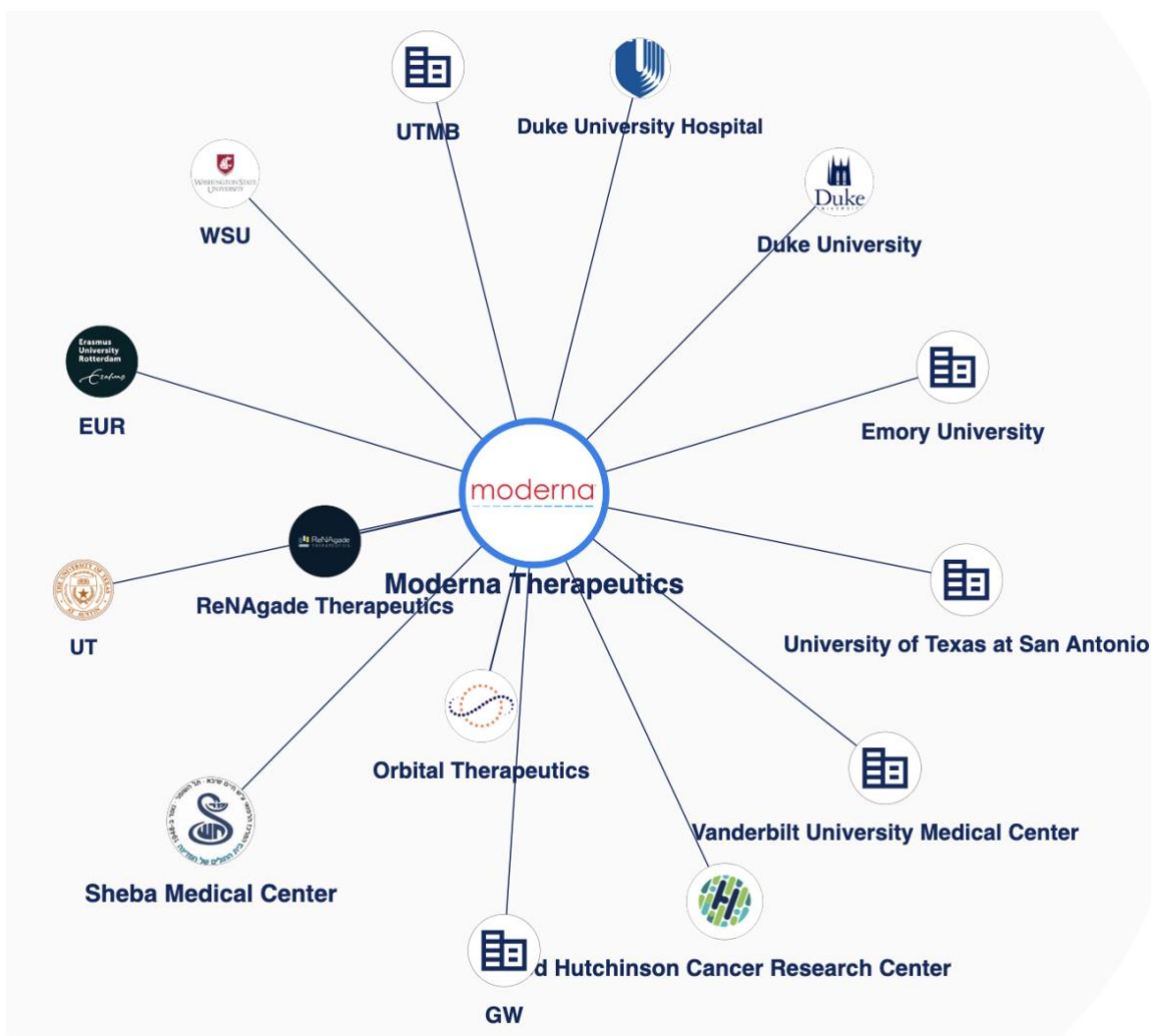
Sexto nodo

El sexto nodo corresponde a Moderna Therapeutics, una de las empresas líderes a nivel mundial en el desarrollo de plataformas de vacunas y terapias basadas en ARN mensajero (ARNm). Este nodo destaca por su red de colaboración predominantemente centrada en instituciones académicas y médicas de Estados Unidos, así como alianzas estratégicas con startups biotecnológicas especializadas. La estructura refleja la integración de capacidades clínicas, de investigación traslacional y desarrollo preclínico para acelerar nuevas aplicaciones del ARNm en oncología, enfermedades infecciosas, inmunología y terapia génica.

- Universidades de alto prestigio con capacidad clínica: Duke University y Duke University Hospital, Emory University, University of Texas at San Antonio (UTSA), Vanderbilt University Medical Center, University of

Texas (UT), Washington State University (WSU), George Washington University (GW), Erasmus University Rotterdam (EUR)

- Empresas biotecnológicas emergentes: ReNAgade Therapeutics y Orbital Therapeutics son startups con enfoque disruptivo en edición génica, entrega de ARNm y plataformas de inmunoterapia.
- Centros especializados en investigación oncológica e inmunológica: Fred Hutchinson Cancer Research Center: líder mundial en inmunooncología, terapias celulares y estudios en fase temprana. Sheba Medical Center (Israel): prestigioso hospital con capacidades robustas en medicina personalizada e investigación traslacional.

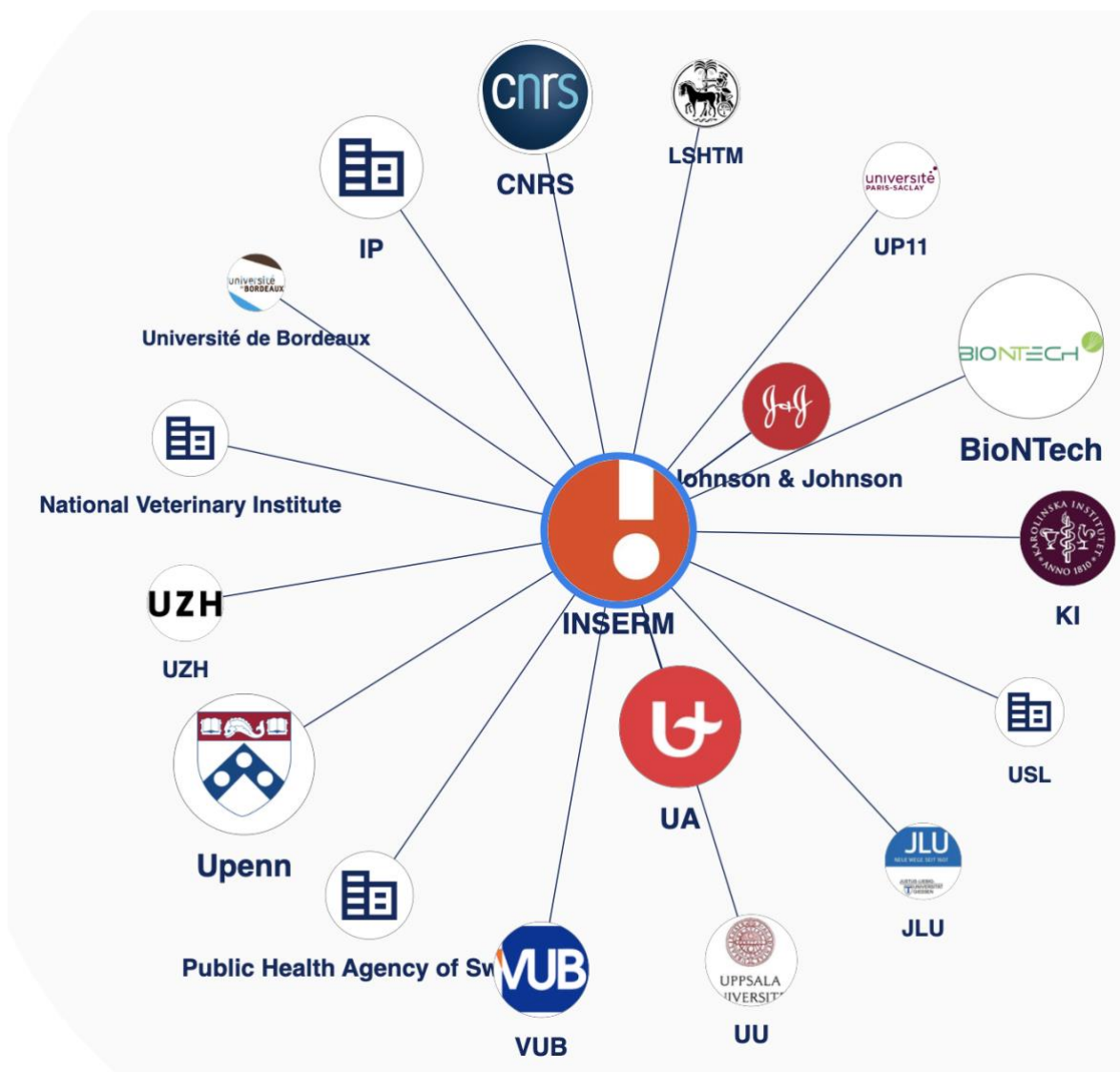


Moderna articula una red altamente especializada, centrada en Estados Unidos y complementada por centros globales de excelencia. Esto le permite ejecutar rápidamente ensayos clínicos multicéntricos, adaptativos y orientados a poblaciones específicas (niños, adultos mayores, inmunocomprometidos). Su alianza con centros oncológicos y biotechs sugiere un movimiento estratégico hacia la medicina personalizada y la inmunoterapia, incluyendo cánceres sólidos, enfermedades raras e infecciosas crónicas (como VIH y CMV).

Septimo nodo

El séptimo nodo corresponde al INSERM (Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale), el principal organismo público francés dedicado a la investigación biomédica y en salud. Este nodo refleja un ecosistema altamente colaborativo que integra instituciones científicas de Europa y Norteamérica, empresas farmacéuticas globales y centros de salud pública, posicionando a INSERM como un actor clave en el desarrollo clínico y traslacional de tecnologías ARNm y otras plataformas disruptivas.

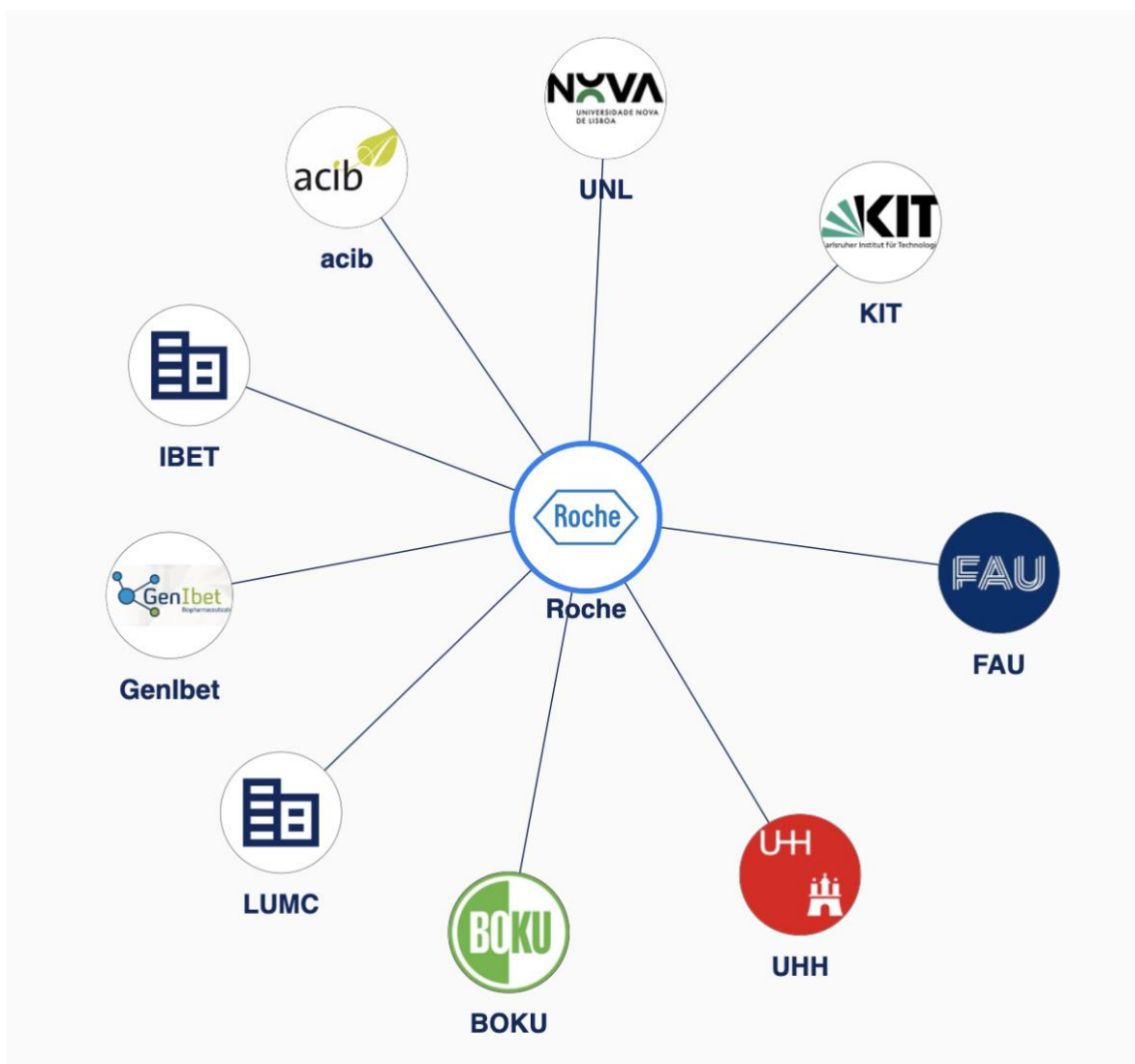
- Académicos y científicos destacados: CNRS (Centre National de la Recherche Scientifique) Université de Bordeaux, Université Paris-Saclay (UP11), IP (Institut Pasteur), VUB (Vrije Universiteit Brussel), Public Health Agency of Sweden, UZH (Universidad de Zúrich), LSHTM (London School of Hygiene and Tropical Medicine), UPenn (University of Pennsylvania), JLU (Universidad Justus Liebig Giessen), National Veterinary Institute
- Industria farmacéutica y biotecnológica: Johnson & Johnson, BioNTech, UA (Universidad de Amberes) y KI (Karolinska Institutet, UU (Universidad de Uppsala)



INSERM se posiciona como nodo de transferencia tecnológica, vigilancia farmacológica y liderazgo científico en plataformas avanzadas como el ARNm, con un equilibrio entre investigación básica, aplicada y clínica. Su estructura de alianzas incluye tanto universidades como agencias de salud pública, lo que le permite abordar desde la fase preclínica hasta la implementación regulatoria. La colaboración con UPenn y BioNTech muestra acceso directo a las tecnologías fundacionales de ARNm, fortaleciendo su capacidad para codesarrollar y escalar soluciones terapéuticas personalizadas.

Octavo nodo

El octavo nodo corresponde a Roche, una de las principales compañías farmacéuticas y biotecnológicas del mundo. Este nodo revela una red de colaboración especializada, técnica y científica en plataformas biológicas avanzadas, en especial biofabricación, bioprocesos, tecnologías de producción de vacunas y terapias basadas en ARNm. Las instituciones conectadas sugieren un fuerte enfoque en ingeniería biotecnológica, expresión génica, diseño de vectores y validación preclínica.



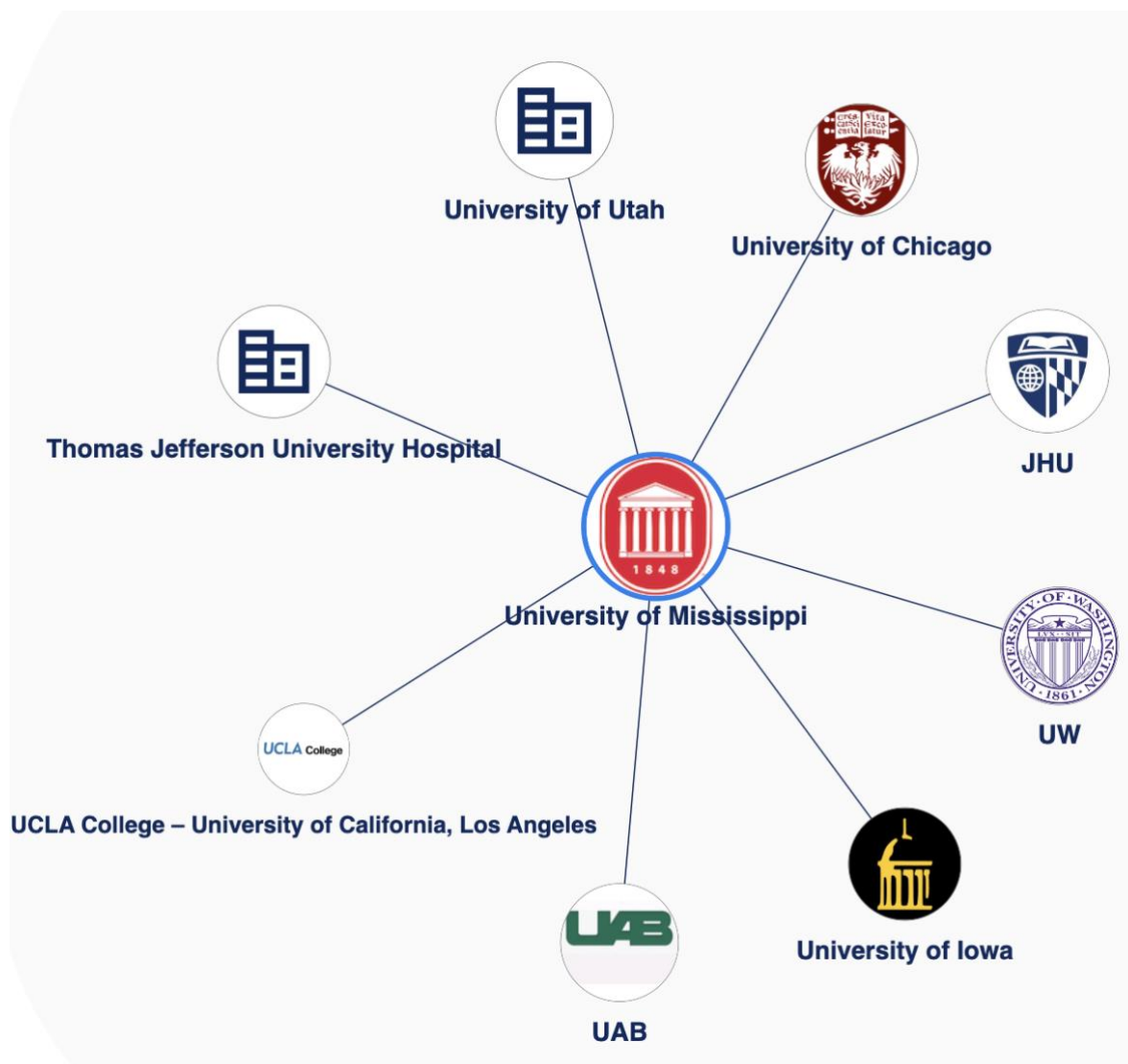
- Universidades e institutos académicos: UNL – Universidade NOVA de Lisboa.
- Vínculo directo con IBET, KIT – Karlsruhe Institute of Technology, FAU – Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, UHH – Universität Hamburg, BOKU – Universität für Bodenkultur Wien, LUMC – Leiden University Medical Center.
- Centros Tecnológicos y de Transferencia: IBET – Instituto de Biología Experimental e Tecnológica.
- Infraestructura de bioprocesos y producción GMP: GenIBET (subsidiaria de IBET), acib – Austrian Centre of Industrial Biotechnology

La red de Roche conecta capacidades productivas, regulatorias y académicas de altísima especialización, ubicadas principalmente en Europa Central y Occidental, donde hay sólida infraestructura para desarrollo preclínico, escalamiento y producción clínica. Se enfoca en capacidad de escalamiento y control de calidad para terapias avanzadas, más que en investigación básica o clínica directa. La inclusión de centros como BOKU, KIT y IBET, sugiere que Roche apunta a consolidar liderazgo en bioprocesamiento de moléculas complejas, especialmente proteínas recombinantes, anticuerpos monoclonales y ARNm encapsulado.

Noveno nodo

El noveno nodo corresponde a la University of Mississippi, la cual lidera una red de colaboración académica y hospitalaria con instituciones altamente reconocidas en Estados Unidos. Esta red está fuertemente orientada al desarrollo clínico, farmacológico y traslacional, con un notable énfasis en ensayos clínicos, farmacología molecular, terapias innovadoras y enfermedades infecciosas y crónicas. La composición sugiere un enfoque tanto preclínico como clínico en fases tempranas y avanzadas,

particularmente relevante en tecnologías emergentes como las terapias génicas y vacunas de ARNm.

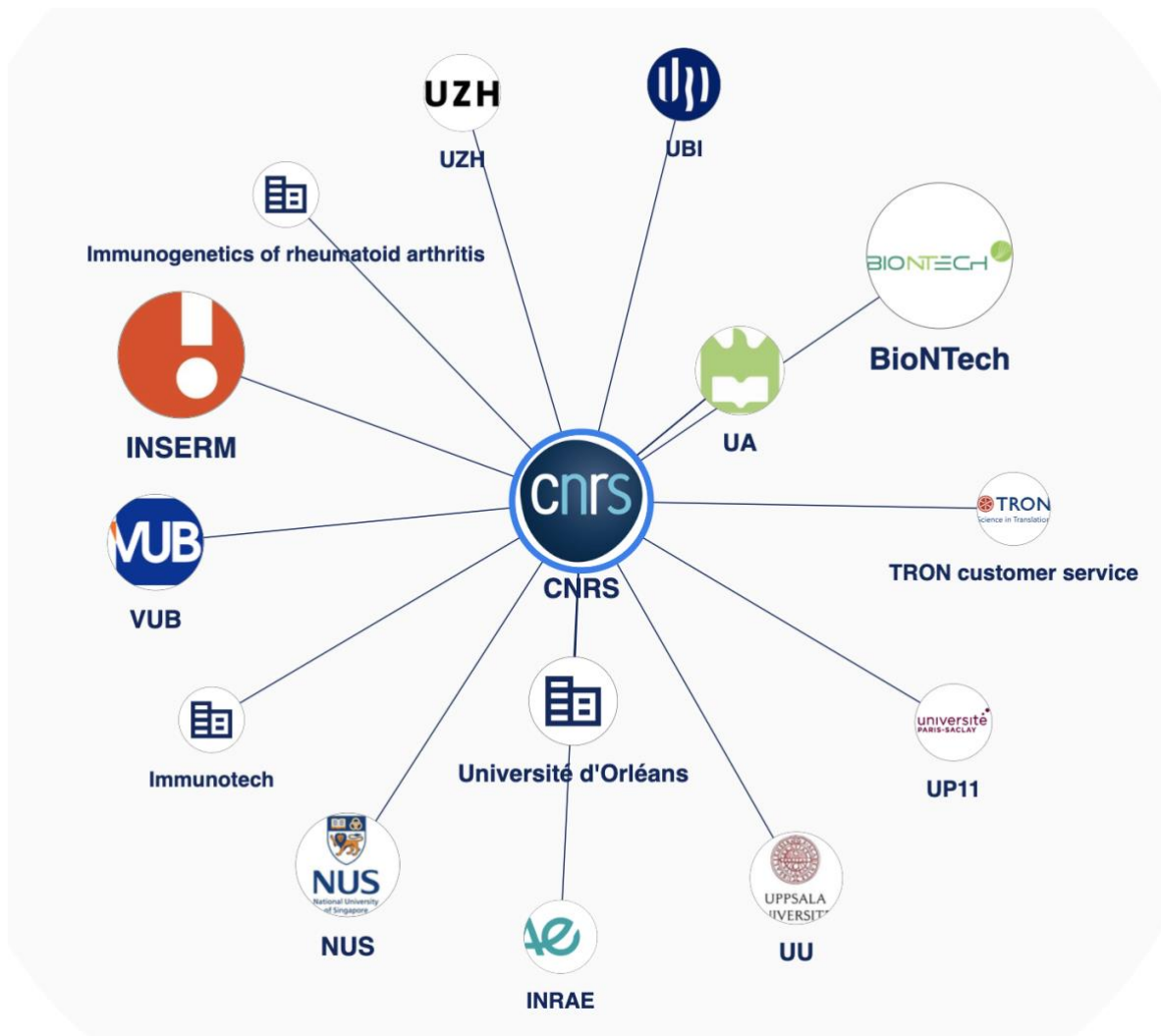


- Universidades y centros académicos: University of Chicago, Johns Hopkins University (JHU), University of Washington (UW), University of Iowa, University of Alabama at Birmingham (UAB), UCLA College – University of California, Los Angeles, University of Utah.
- Hospitales Asociados: Thomas Jefferson University Hospital.

La presencia de centros como JHU, UW, UAB y UCLA sugiere que la University of Mississippi actúa como un nodo conector o integrador, favoreciendo

estudios multicéntricos en distintas fases clínicas. Hay un equilibrio entre capacidades hospitalarias, investigación académica y potencial de transferencia tecnológica.

Décimo nodo



El CNRS, uno de los organismos de investigación más prestigiosos del mundo, funciona como un nodo central en esta red de colaboración internacional en el campo de las biotecnologías, inmunoterapia y tecnologías ARNm. Este nodo articula múltiples universidades, centros de investigación, institutos

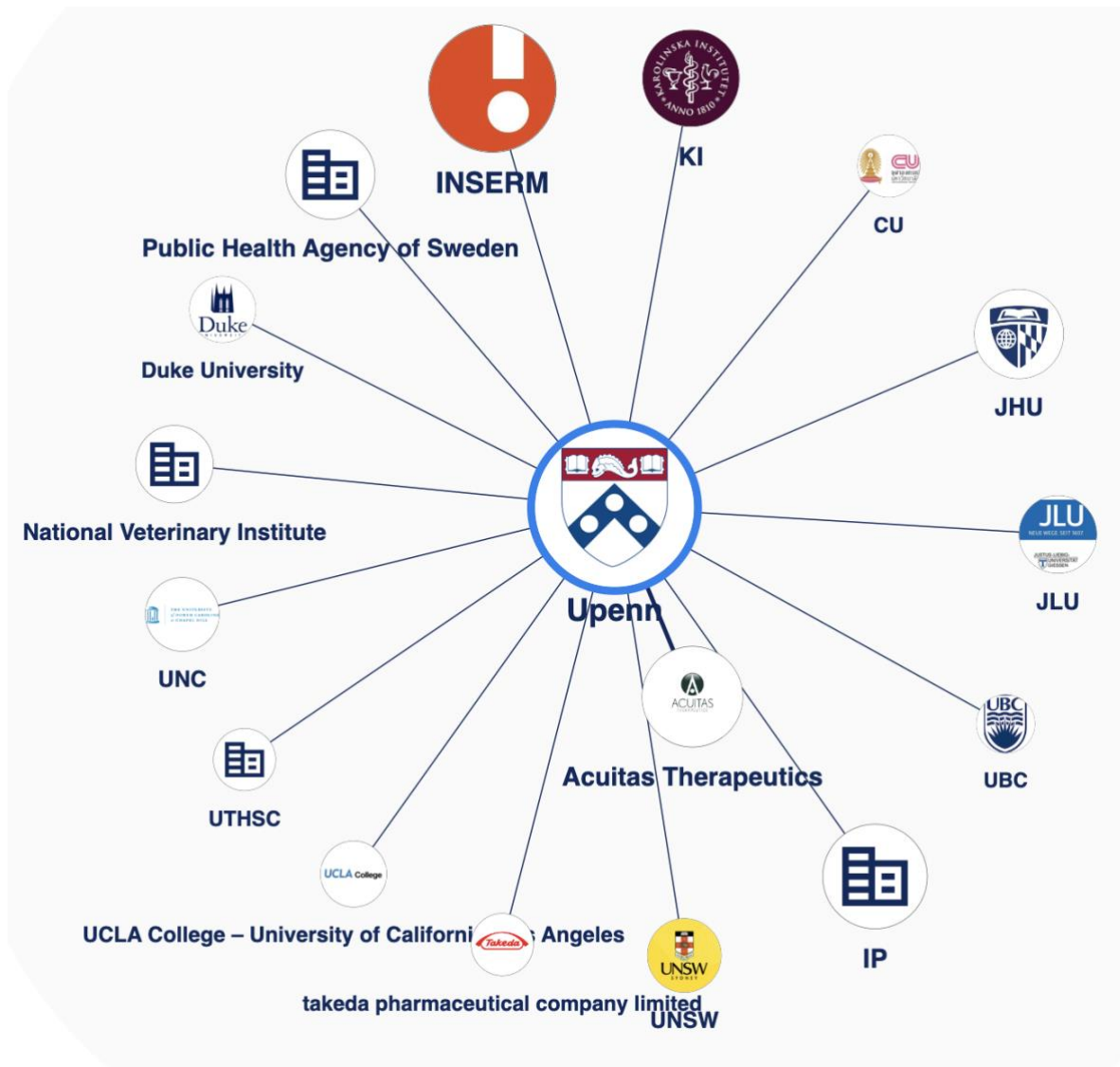
clínicos y empresas biotecnológicas que participan activamente en el desarrollo de vacunas, terapias génicas e inmunológicas.

- Universidades: Université Paris-Saclay (UP11), UZH (Universidad de Zúrich), UA (Universidad de Amberes), VUB (Vrije Universiteit Brussel), UBI (University of Beira Interior), Université d'Orléans, Uppsala University (UU), NUS (National University of Singapore).
- Empresas: BioNTech, TRON (Translational Oncology), Immunotech.
- Centros / Institutos de Investigación: INSERM, INRAE.

Décimoprimer nodo

Este nodo articula un ecosistema académico, clínico y biotecnológico transcontinental, con énfasis en tecnologías ARNm, inmunoterapia, vacunas y enfermedades infecciosas. Upenn, pionera en ARNm (liderazgo científico como el de Katalin Karikó y Drew Weissman), funge como eje de colaboración científica de alto impacto.

- Universidades: Upenn, Duke University, UNC (University of North Carolina), UCLA College – University of California, Los Angeles, JHU (Johns Hopkins University), CU (Columbia University), UNSW (University of New South Wales), UBC (University of British Columbia), JLU (Justus Liebig University Giessen).
- Empresas: Acuitas Therapeutics, Takeda Pharmaceutical Company Limited.
- Instituciones de investigación: INSERM, KI (Karolinska Institutet), Public Health Agency of Sweden, National Veterinary Institute, IP (Instituto Pasteur), UTHSC (University of Tennessee Health Science Center).



OBSERVACIONES FINALES

Técnicas

El ARNm se ha establecido como una de las plataformas biotecnológicas más prometedoras para el desarrollo de vacunas y terapias avanzadas. El análisis patentario refleja un crecimiento exponencial en los últimos 10 años, con innovaciones en vectores, formulaciones, métodos de estabilización y mecanismos de liberación.

Aunque el desarrollo inicial estuvo enfocado en vacunas contra COVID-19, la vigilancia tecnológica revela un creciente interés en aplicaciones oncológicas (inmunoterapia personalizada), enfermedades infecciosas emergentes, y terapias combinadas con inteligencia artificial y edición génica.

Con 283 ensayos clínicos identificados, la tecnología ARNm muestra una fuerte presencia en fases I y II, pero también comienza a consolidarse en fases III, reflejando un avance hacia la aprobación regulatoria y uso comercial más allá de la pandemia.

El desarrollo de vacunas de ARNm ha estado fuertemente impulsado por alianzas entre universidades, empresas biotecnológicas y entidades gubernamentales. Estas redes permiten acelerar la validación preclínica y clínica, así como la transferencia tecnológica a países con capacidades regulatorias emergentes.

Comerciales

Moderna, BioNTech, CureVac y Gilead dominan el espacio comercial y tecnológico, concentrando el mayor número de patentes, colaboraciones

internacionales y productos en fases clínicas avanzadas. Estas empresas no solo lideran el mercado, sino que definen los estándares de innovación.

La alta actividad patentaria y de ensayos clínicos en etapas tempranas abre oportunidades para licenciamiento estratégico, inversión en pruebas de concepto, y coinversión en desarrollos con alto potencial terapéutico, especialmente en cáncer y enfermedades huérfanas.

Se prevé que el mercado de vacunas de ARNm supere los 100 mil millones de dólares en la próxima década, con una participación creciente en Asia y América Latina. Las patentes concedidas en múltiples jurisdicciones apuntan a una estrategia clara de internacionalización.

Universidades, startups y farmacéuticas nacionales pueden integrarse a las cadenas globales de valor mediante desarrollo de formulaciones, mejoras en vectores de entrega, pruebas clínicas localizadas y manufactura especializada, posicionándose como socios tecnológicos o licenciarios.

CONTACTO

Espacio Radar Farma

<https://espacioquimico.unam.mx/>

lvillafana@incide.mx

Luis Gerardo Villafaña Díaz

Coordinador de Investigación y Desarrollo Tecnológico
Fundación INCIDE

afarias@incide.mx

Alejandro Carlos Farías Zúñiga

Director de Innovación
Fundación INCIDE

mfiga@unam.mx

Marcela Castillo Figa
Instituto de Química UNAM





ESPACIO QUÍMICO
RADAR FARMACÉUTICO