



Ministerio de Ciencia,
Tecnología e Innovación
Argentina



Sistemas Nacionales

PLAN ESTRATÉGICO PARA EL DESARROLLO DE LA RESONANCIA MAGNÉTICA EN LA ARGENTINA

PLAN ESTRATÉGICO 2022-2026



Sistemas Nacionales
Resonancia Magnética

FEBRERO 2022

AUTORIDADES

Ministro de Ciencia, Tecnología e Innovación

Daniel Fernando Filmus

Secretario de Articulación Científico-Tecnológica

Juan Pablo Paz

Subsecretario de Coordinación Institucional

Pablo Nuñez

Directora Nacional de Planificación de Recursos Físicos

Julieta Cortina

COLABORADORES

Carolina Pérez

Francisco Monterubbianesi

Gabriela Gorjón

Nicolás Wolcoff

Sabrina Fischberg

Sandra Vovk

Silvana Beltrán

Stella Maris Nigro

El Sistema Nacional de Resonancia Magnética (SNRM) fue creado en 2009 mediante Resolución Nro. 714/09 por iniciativa del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (MINCYT) y funciona bajo la órbita de la Secretaría de Articulación Científico-Tecnológica. El SNRM ha colectado valiosa información que brinda una visión global del estado de desarrollo, así también como las necesidades y falencias de los distintos tipos de resonancia magnética en Argentina. La información recolectada corresponde a 21 centros adheridos donde se alojan los 28 grandes equipos en el área de la resonancia magnética relevados hasta febrero de 2022 por el sistema.

Diagnóstico

La resonancia magnética es una técnica poderosa que permite el estudio detallado de la estructura de la materia. Esta capacidad permite su utilización tanto en el avance del conocimiento en temas de frontera en química, física y biología, así como su aplicación en salud, biotecnología y nanotecnología, con potencialidades únicas que la distinguen de otras técnicas. En general, utiliza equipamiento de elevado costo y de mantenimiento complejo, que además requiere recursos humanos altamente calificados y especializados en sus distintas orientaciones y aplicaciones.

El sistema científico argentino cuenta con una sólida red de recursos humanos altamente capacitados en distintas instituciones académicas con equipamiento que es usado de manera intensiva tanto por los usuarios académicos como por el sector productivo. Actualmente existe un número importante de equipos con más de una década de antigüedad que están en riesgo de discontinuar su funcionamiento por haberse vuelto obsoletos. Muchos de los mismos pueden ser actualizados mediante compras parciales, sin necesidad de adquirir equipos completos. En caso de que se desatienda esta necesidad en el corto plazo, será necesario comprar equipos nuevos, con un costo muy superior. Por otra parte, el parque de equipos ha quedado desactualizado en cuanto a prestaciones de servicios, hecho que también requiere una intervención rápida.

En función de este diagnóstico, el Consejo Asesor del Sistema Nacional ha redactado un Plan Estratégico que atiende y prioriza estas necesidades dentro de un esquema integrador que abarca las distintas disciplinas que usan estos equipos y todas las regiones del país.

La comunidad de usuarios de resonancia magnética en Argentina está constituida actualmente por una cantidad importante de investigadores con distintos intereses disciplinarios, mayormente en química, y en número algo menor en bioquímica/biología y física. La Resonancia Magnética Nuclear (RMN) está incluida en la currícula de todas las carreras de química y bioquímica. El campo de la química es también el que comprende la mayor cantidad de usuarios dentro del sector privado. En el caso de la Resonancia Paramagnética Electrónica (RPE) la comunidad de usuarios es más pequeña y la técnica se encuentra menos difundida. Es decir que se observa una distribución temática y de usuarios similar a la que ocurre en países con tecnología de punta, pero con una menor presencia de las aplicaciones más modernas.

Objetivos

- A. Garantizar que el parque de equipamiento de RMN y RPE en el país esté completamente operativo, con tecnología que permita mantener la competitividad científica y de prestación de servicios.
- B. Fortalecer la formación de investigadores no especializados en las áreas de RMN y RPE para lograr un más amplio acceso a la técnica mediante capacitación y asistencia guiada en los espectrómetros de grandes prestaciones.
- C. Ampliar los servicios a través de la adquisición incremental de equipamiento más sofisticado que permita que el país pueda ofrecer respuestas competitivas a las carencias y problemas en este sector, cobertura de áreas de vacancia geográfica y mediante la adquisición de equipamiento clave asociado a recursos humanos calificados en el país.

Criterios

- 1. Mantener actualizado el parque de espectrómetros de modo de asegurar una prestación confiable y al nivel de los requerimientos de la investigación científica y de las necesidades del sector productor de bienes y servicios.
- 2. Expandir el acceso a la RMN y la RPE a regiones del país que aún no tienen acceso directo a la técnica.
- 3. Incorporar y desarrollar técnicas avanzadas de resonancia magnética nuclear y resonancia magnética electrónica.

Líneas de acción a instrumentar y acciones específicas en el marco de la compra de equipamiento

	Líneas de acción	Acciones específicas
1	Satisfacer necesidades actuales	Reemplazo parcial o total de equipos obsoletos Actualización de equipos existentes Adquisición de nuevos equipos de altas prestaciones
2	Reforzar áreas de vacancia o en crecimiento.	Adquisición de nuevos equipos con prestaciones no disponibles en el país Adquisición de equipos aptos para lugares alejados que actualmente no tienen acceso fluido a la técnica. Adquisición de equipos con prestaciones básicas para uso de rutina
3	Formar RRHH capacitados	Capacitación de operadores Capacitación de usuarios Capacitación de investigadores en técnicas de avanzada.
4	Cooperación Internacional	Aprovechamiento de las redes internacionales para el acceso a instrumentación de punta no disponible en el país.

LÍNEA 1: Está orientada por un lado a resolver problemas derivados de la obsolescencia del parque de espectrómetros y por otro, a ampliar el número de equipos de altas prestaciones en función de la demanda creciente detectada. Para ello se propone un plan de adquisición de equipos y actualizaciones que comprende a) la actualización de equipos operativos y en buen estado para asegurar su funcionamiento futuro y adecuarlos a la tecnología actual, b) el reemplazo de equipos en funcionamiento para los cuales no existen repuestos y no son pasibles de una actualización y c) la adquisición de equipos de altas prestaciones para satisfacer la demanda creciente tanto del sector académico y del sector productivo.

LÍNEA 2: Se propone un plan de adquisición de equipamiento que incorpore los avances recientes en resonancia magnética y provea acceso a técnicas y metodologías aún no disponibles en el país. En paralelo se propone la adquisición de a) equipamiento de bajo mantenimiento para zonas alejadas de los centros con grandes equipos y b) equipamiento de prestaciones básicas para complementar a aquellos equipos que se encuentran sobrecargados ampliando la disponibilidad del servicio y logrando un mejor aprovechamiento de los recursos más sofisticados.

LÍNEA 3: La incorporación de nuevo equipamiento debe estar acompañada de un plan de capacitación de los recursos humanos disponibles en la institución donde se ubicará el equipo y/o de un plan de radicación de recursos humanos capacitados.

LÍNEA 4: Articular el acceso a Facilidades Internacionales a equipos de ultra alto campo no disponibles en el país.

Prioridades

A continuación, se indica el orden de prioridad de las acciones con respecto a futuras adquisiciones:

- 1) Reemplazo parcial o total de equipos obsoletos o al borde de la obsolescencia en carácter de urgencia.
- 2) Adquisición de equipamientos básicos en áreas geográficas de vacancia.
- 3) Mejoras de Sensibilidad y nuevas Prestaciones en los equipos disponibles.
- 4) Adquisición de equipos o accesorios para reforzar Áreas de Vacancia o en crecimiento s Geográficas o en crecimiento.

CONSEJO ASESOR

El Consejo Asesor es el órgano inmediato de representación, discusión y coordinación de las actividades, proyectos y programas del Sistema Nacional de Resonancia Magnética (SNRM), así como de asesoramiento al Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (MINCYT) y al Consejo Interinstitucional de Ciencia y Tecnología (CICYT) sobre políticas destinadas a la mejora permanente del funcionamiento del sistema.

Los integrantes del Consejo Asesor son representantes de los organismos del CICYT con injerencia y/o expertos en la materia, designados por el MINCYT.

COORDINADORES

- Alejandro GRANADOS - Experto invitado por el MINISTERIO DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN
- Alejandro VILA - Experto invitado por el MINISTERIO DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN

INTEGRANTES

- Gustavo MONTI – Experto invitado por el MINISTERIO DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN
- Carlos RAMOS - COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA (CNEA)
- Gerardo BURTON - CONSEJO NACIONAL DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y TÉCNICAS (CONICET)
- Ana María GENNARO - CONSEJO NACIONAL DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y TÉCNICAS (CONICET)
- Ernesto MATA - CONSEJO NACIONAL DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y TÉCNICAS (CONICET)
- Leandro SANTOS - INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA INDUSTRIAL (INTI) – Titular
- Sergio RILLO - INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA INDUSTRIAL (INTI) – Alterno
- Sergio LUCINO - CONSEJO DE RECTORES DE UNIVERSIDADES PRIVADAS (CRUP) – Titular
- Carlos Dante BRONDINO - CONSEJO INTERUNIVERSITARIO NACIONAL (CIN) – Alterno
- Raúl GARAY - CONSEJO INTERUNIVERSITARIO NACIONAL (CIN) – Titular
- Rosana CHEHIN - CONSEJO INTERUNIVERSITARIO NACIONAL (CIN) – Titular
- Carina María Luján DEL PICCOLO - CONSEJO INTERUNIVERSITARIO NACIONAL (CIN) – Alternata
- Sonia LESYK - CONSEJO INTERUNIVERSITARIO NACIONAL (CIN) – Titular
- Marcela Beatriz KURINA SANZ - CONSEJO INTERUNIVERSITARIO NACIONAL (CIN) – Titular

CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO	3
CONSEJO ASESOR.....	7
FIGURAS, CUADROS, TABLAS Y GRÁFICOS	10
MOTIVACION, LINEAMIENTOS Y OBJETIVOS DEL PLAN ESTRATEGICO	11
1. Introducción a las Técnicas de Resonancia Magnética y a sus aplicaciones.....	12
1.1 Resonancia Magnética Nuclear (RMN)	12
1.2 Resonancia Paramagnética Electrónica (RPE).....	13
2. Breve recorrido histórico del desarrollo de la Resonancia Magnética y su introducción en la Argentina.	15
2.1 Resonancia Magnética Nuclear.....	15
2.2 Resonancia Paramagnética Electrónica (RPE).....	23
2.3 Comunidad de usuarios de Resonancia Magnética en el país	24
2.4 Demanda desde el sector productor de bienes y servicios.	25
2.5 Las Resonancias Magnéticas (RM) en el contexto del documento preliminar del Plan Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación 2030.	27
3. Estado de situación actual del equipamiento de RMN y RPE en el país. Diagnóstico y principales problemáticas	28
3.1 Espectrómetros de Resonancia Magnética Nuclear (RMN).....	28
3.2 Espectrómetros de Resonancia Paramagnética Electrónica (RPE)	29
3.3 Impacto del Sistema Nacional de Resonancia Magnética (SNRM)	30
3.4 Análisis DE FORTALES, OPORTUNIDADES, DEBILIDADES Y AMENAZAS	32
4. Plan Estratégico	33
4.1 Objetivos Generales del Plan	33
4.2 Objetivos Específicos del Plan.....	33
4.3 Líneas de Acción.....	34
ANEXO I.....	37
1. Acciones de carácter URGENTE para garantizar el correcto funcionamiento de la planta de equipos disponibles en estado de obsolescencia o al borde de la misma, y adquisición de nuevos equipos de orden básico. Estas acciones incluyen nuevos equipos, actualizaciones y mantenimiento de los existentes.....	37
2. Acciones tendientes a mejorar los sistemas actuales tanto desde el punto de la sensibilidad como de las prestaciones que ofrecen los equipamientos.	37

3. Acciones para reforzar áreas de vacancia o en crecimiento.....	38
4. Acciones tendientes a la eficientización y formación de RRHH capacitados	38
ANEXO II.....	40
EQUIPAMIENTO PARA MANTENER EL NIVEL DE PRESTACIÓN ACORDE A LA EVOLUCIÓN DE LA TÉCNICA.....	40

FIGURAS, CUADROS, TABLAS Y GRÁFICOS

1 Antigüedad de los equipos de RMN existentes	17
2 Distribución de espectrómetros de RMN de alta resolución en Argentina.	18
3 Antigüedad de los equipos de RPE en el país adheridos al SNRM.	24
4 Distribución de espectrómetros de RPE en Argentina. En verde los operativos, y en naranja los fuera de servicio.	25
5 Montos anuales aportados por el SNRM desde su creación, discriminados por línea de financiamiento.	31
6 Análisis FODA	32
7 Líneas de Acción	34
8 Actualización de equipos obsoletos y/o fuera de funcionamiento	40
9 Nuevas adquisiciones: Áreas de vacancia geográfica	41
10 Nuevas adquisiciones: Áreas de vacancia de prestaciones	41
11 Nuevas adquisiciones: Áreas de vacancia de prestaciones	42
12 Resumen por prioridad	42

MOTIVACION, LINEAMIENTOS Y OBJETIVOS DEL PLAN ESTRATEGICO

La Resonancia Magnética es una técnica poderosa que permite el estudio detallado de la estructura de la materia. Con distintas variantes, la misma permite la identificación precisa de moléculas en mezclas complejas, así como su estructura molecular a nivel atómico en el espacio en moléculas aisladas. Esta capacidad permite su utilización tanto en el avance del conocimiento en temas de frontera en química, física y biología, así como su aplicación en salud, industria de alimentos, biotecnología y nanotecnología, con potencialidades únicas que la distinguen de otras técnicas. En general, utiliza equipamiento de elevado costo y de mantenimiento complejo, por lo cual requiere recursos humanos altamente calificados y especializados en sus distintas orientaciones y aplicaciones, así como en la complejidad del mantenimiento de los equipos.

El sistema científico argentino cuenta con una sólida red de recursos humanos altamente capacitados en distintas instituciones académicas con equipamiento que es usado de manera intensiva tanto por los usuarios académicos como por el sector productivo. El desarrollo de la Resonancia Magnética en el país ha estado ligado a las políticas de ciencia y técnica del Estado nacional. En los últimos 40 años puede dividirse en las siguientes etapas:

PRIMERA. DÉCADA DEL '80: Compra del primer lote de equipos de RMN de modo coordinado en una iniciativa liderada por CONICET (financiación del BID). Adquisición de 3 espectrómetros de RPE por iniciativas individuales (Santa Fe, Bs As y Bariloche). Estos equipos fueron destinados a grupos en química y física.

SEGUNDA. DÉCADA DEL '90: Se adquirieron unos pocos equipos mediante iniciativas individuales.

TERCERA. PRESENTE SIGLO: Adquisición de equipos modernos con financiación de ANPCYT (PME y PPL) en el periodo 2005-2013, principalmente basadas en las solicitudes de distintos actores. En este período se comienza a aplicar la técnica a biología estructural y a metabólica.

CUARTA. CREACIÓN DEL SISTEMA NACIONAL DE RESONANCIA MAGNÉTICA: Ordenamiento y relevamiento de la planta de equipos, definición de prioridades y apuntalamiento del instrumental disponible.

QUINTA. PME 2015: adquisición y actualización de unos pocos instrumentos (adquisición de dos espectrómetros de 500 MHz y actualización de dos imanes superconductores). El resto de los equipos adjudicados no llegaron a adquirirse por demoras en la entrega de fondos y la devaluación del peso.

PRESENTE: El estado actual del parque de espectrómetros y la consolidación de una comunidad que interactúa en el marco del Sistema Nacional, llevan a plantear **un esquema planificado e integrador de las necesidades**. Este esquema cristalizó en el Plan Estratégico 2014-2019, que describía las perspectivas que deberían considerarse en futuras convocatorias para la financiación de grandes equipamientos, permitiendo

una planificación temática y geográfica en función de necesidades presentes y futuras. Ese plan no fue ejecutado debido a la falta de financiación y de iniciativas para su implementación. Como consecuencia, esto llevó a un **envejecimiento de los equipos existentes, por lo cual el presente plan representa no solamente una actualización del anterior con perspectivas de crecimiento, sino que señala acciones de implementación urgente para el salvataje, la prolongación de la vida útil y el adecuado funcionamiento de los equipos disponibles en el país.**

1. INTRODUCCIÓN A LAS TÉCNICAS DE RESONANCIA MAGNÉTICA Y A SUS APLICACIONES

Los fundamentos y aplicaciones de la resonancia magnética abarcan todo el ámbito de las ciencias experimentales clásicas (matemáticas, física, química, biología, geología), las tecnologías (informática, ciencia de materiales) y las ciencias de la salud, en especial la medicina. Comprende dos técnicas principales, la Resonancia Magnética Nuclear (RMN) y la Resonancia Paramagnética Electrónica (RPE).

1.1 RESONANCIA MAGNÉTICA NUCLEAR (RMN)

Esta técnica experimental, tuvo sus inicios a mediados de 1940 con los experimentos realizados por E. M. Purcell en Harvard, Massachusetts y F. Bloch en Stanford, California. En los poco más de 70 años transcurridos ha demostrado ser insustituible en el estudio de las propiedades estructurales y dinámicas de la materia condensada encontrándose en permanente desarrollo e innovación. La espectroscopía de RMN se basa en las transiciones experimentadas por el espín de los núcleos atómicos en presencia de un campo magnético. Su característica prácticamente única entre las espectroscopias, es que cada señal observada puede ser asignada a un átomo de la molécula y por otra parte que cada átomo observado (ya sea carbono, hidrógeno, nitrógeno, etc.) da una señal identificable y asignable. Esto la convierte en la técnica más poderosa con que se cuenta actualmente para estudiar la estructura de una molécula. Es así, ya que se hayan otorgado Premios Nobel en Física (1944 y 1952), Química (1991 y 2002) y Medicina (2003) por los desarrollos en esta técnica.

La espectroscopía de RMN analítica en solución, basada en equipos que utilizan imanes superconductores, es la que se encuentra más desarrollada y en menor medida la RMN de sólidos y las técnicas de microimágenes, uso de campos magnéticos variables y relajación a campos magnéticos bajos.

Campo de aplicación de la RMN

La RMN tiene la particularidad de ser muchas técnicas en una siendo aplicable prácticamente a todo tipo de sistemas ya sean líquidos, sólidos (cristalinos y amorfos) e incluso gases. Además de esta variedad de aplicaciones en distintos tipos de materiales, su potencialidad se refleja en que brinda resultados que van desde el estudio de los fenómenos más básicos de las ciencias físicas, biológicas y químicas hasta las aplicaciones tecnológicas de última generación en la industria. La Resonancia Magnética Nuclear es una herramienta insustituible en la dilucidación de la estructura química y espacial de compuestos nuevos y en la caracterización rutinaria de compuestos químicos ya conocidos. Es así que esta técnica cumple un papel fundamental en el campo de la Química, especialmente en la Química Orgánica pero también en la Química Inorgánica y otras ramas de la química, tanto en el sector científico como en la industria química, farmacéutica y de los alimentos. Actualmente, no puede concebirse un laboratorio o centro de investigación desarrollado en Química, sin acceso regular a un espectrómetro de RMN de mediano porte para tareas rutinarias. Los desarrollos más recientes han permitido extender las fronteras de aplicación de la técnica a una variedad de aplicaciones que incluyen desde el análisis de origen en ciertos alimentos, (vinos, jugos, mieles) hasta la caracterización de materiales complejos y poliméricos.

Dentro de las Ciencias Biológicas y de la Física, la mayor parte de los trabajos que hacen uso de la RMN tienen un perfil distinto, ya sea por la demanda de equipos de mayor campo magnético (y por ende mayor costo) o bien de accesorios especiales, como por la necesidad de contar con recursos humanos altamente especializados. Además, los equipos de alto campo utilizados suelen funcionar en facilidades de uso compartido entre distintos usuarios, con tiempos de acceso prolongados. Esto hace que su uso sea menos adaptable a un esquema de prestación de servicios amplio y rutinario.

En Medicina la RMN se ha posicionado como una de las técnicas de generación de imágenes más destacadas por su capacidad de obtener imágenes tridimensionales de tejido blando con altísima calidad.

En el país se cuenta con una importante masa crítica de investigadores formados y/o perfeccionados en el exterior en centros de excelencia internacional en la disciplina, y con reconocimiento internacional. Además, existe un alto grado de colaboración entre estos grupos que, basándose en relaciones académicas, se potencia mediante el Sistema Nacional.

1.2 RESONANCIA PARAMAGNÉTICA ELECTRÓNICA (RPE)

La espectroscopía de resonancia paramagnética electrónica (RPE, o ESR, EPR y EMR) es una técnica similar a la RMN, sólo que se basa en transiciones del espín electrónico. Tuvo su inicio en 1944 por experimentos desarrollados por Zavoisky en Kazan (Rusia). Tiene la capacidad de detectar en forma directa con una alta sensibilidad y caracterizar las propiedades electrónicas de sistemas con electrones desapareados. Se aplica al estudio de radicales libres, iones de metales de transición y elementos más pesados de la tabla periódica como son las tierras raras. Es central para investigar y caracterizar especies que están involucradas en procesos de fotosíntesis, oxidación, catálisis, reacciones de polimerización, sólidos cristalinos o amorfos, etc. En materiales magnéticos ordenados es una herramienta de estudio básico y aplicado a transiciones de fase, anisotropía magnética, relajación magnética, y nuevos efectos como Inverse-Spin Hall Effect en films magnéticos acoplados a films no magnéticos con acoplamiento espín-órbita.

Campo de aplicación de la RPE

Al igual que en el caso de la RMN, el campo de aplicación de la RPE es diverso y alcanza a la Física, la Química y la Biología. La RPE es una espectroscopía de interés para diversas disciplinas aplicadas, en áreas tan diversas como la ciencia de materiales, ciencias de la salud y nanotecnología. La gran ventaja de la técnica, además de su alta sensibilidad, es que con un solo equipo se pueden investigar sistemas en estado líquido, sólido y gaseoso. La técnica ha incrementado su potencialidad a partir de la implementación de técnicas pulsadas resueltas en tiempo y de técnicas de resonancias dobles electrónica-nuclear y electrónica-electrónica. Es aplicable al estudio de defectos en materiales, de compuestos con metales de transición y tierras raras y radicales libres. Esto último ha permitido que la técnica invadiera el vasto universo diamagnético mediante la incorporación artificial de marcadores de espín (radicales libres), brindando información relevante en biología estructural, nano estructuras, y moléculas orgánicas. La espectroscopía de RPE ha sido central en investigaciones realizadas en áreas aparentemente muy distintas como por ejemplo el magnetismo molecular -una subdisciplina de la Física y Química del estado sólido iniciada en la década del 80- y la caracterización de distintas metaloenzimas redox centrales en procesos biológicos como los ciclos del nitrógeno, azufre y carbono y la respiración celular. Más recientemente, su complementación con técnicas de Biología Molecular ha dado origen a la técnica SDSL (*Site Directed Spin Labeling*, mutaciones sitio dirigidas para su marcado con sondas de espín) que tiene un futuro promisorio no sólo como técnica estructural, sino también para elucidar interacciones proteína-proteína, lo que le da un interés adicional en el campo de la Biología Estructural.

Entre las aplicaciones a estudios de materiales cabe mencionar la caracterización de nuevos materiales magnéticos, tanto masivos como nanoestructurados, donde la RPE brinda información crucial a partir de la

determinación del factor g , campo cristalino, estructura hiperfina, anisotropías magnéticas, la caracterización de distintas fases, el estudio de acoplamientos magnéticos entre centros, resonancia de ondas estacionarias de espín, nuevos efectos asociados al acoplamiento entre flims magnéticos y no-magnéticos con acoplamiento espín órbita, que ha dado lugar a un amplio campo de aplicaciones en espintrónica.. Entre las aplicaciones al área nuclear cabe mencionar la Dosimetría por Resonancia Magnética Electrónica, el análisis cuantitativo de la cantidad de óxido de gadolinio en pastillas combustibles, dosimetría de radiación ionizante en materiales como L-Alanina, esmalte dental, y conchas de moluscos entre otros, (con aplicaciones en conservación de alimentos, medicina nuclear, datación de fósiles, entre otros), estudios del efecto de radiación en aceros utilizados en reactores nucleares. Por ser una herramienta muy valiosa en la caracterización de sistemas biológicos, se han desarrollado técnicas basadas en la medición de radicales libres que permiten monitorear, y eventualmente corregir, procesos biotecnológicos como el de la producción de cerveza, y como detector de contaminación geoambiental por excesiva producción de gases atmosféricos paramagnéticos. Dada esta potencialidad y por ser la técnica por excelencia para detectar sistemas con electrones desapareados, es esperable que se incremente exponencialmente su uso en distintas áreas de la investigación básica y aplicada y en desarrollos tecnológicos.

2. BREVE RECORRIDO HISTÓRICO DEL DESARROLLO DE LA RESONANCIA MAGNÉTICA Y SU INTRODUCCIÓN EN LA ARGENTINA.

2.1 RESONANCIA MAGNÉTICA NUCLEAR

Como se mencionó, una de las aplicaciones principales de la RMN ha sido la determinación de la estructura molecular y eso ha impulsado el desarrollo de los espectrómetros desde los primeros equipos comerciales de la década del 50. Para llegar al actual nivel de prestación los espectrómetros de RMN en sus 70 años de historia experimentaron varios cambios tecnológicos decisivos, el primero fue la introducción de los métodos de pulsos a principios de los años 70 que produjo una revolución al dar acceso práctico a núcleos distintos de ^1H , fundamentalmente ^{13}C . En la misma década se construyeron los primeros imanes superconductores que permitieron romper la barrera de los 2,35 Tesla impuesta por los electroimanes con núcleo de hierro. En la década del 80 se descubrió que era posible manipular los sistemas de spin mediante secuencias de pulsos de radiofrecuencia y eso llevó al desarrollo de la RMN en 2 y 3 dimensiones y las técnicas de correlación. Un tercer cambio tecnológico se dio a principios de los 90 con la introducción de gradientes de campo en los espectrómetros comerciales, que combinado con los métodos de espectroscopía de detección inversa que se habían desarrollado para esa época, produjo un cambio importante en la sensibilidad de los espectrómetros y en su capacidad de obtener información estructural con cantidades

cada vez menores de sustancia y accediendo a los núcleos poco sensibles. Estos cambios fueron acompañados con desarrollos notables en la electrónica que permitió construir circuitería de bajo ruido y por supuesto en las computadoras, que permitieron manejar mayores volúmenes de datos en tiempos cada vez menores. Una consecuencia trascendental de estos avances fue la posibilidad de enfrentar estructuras complejas como las de las macromoléculas biológicas. En la década de 1990, la RMN se afianzó y consolidó como una de las grandes herramientas para la elucidación de la estructura de biomoléculas en solución (en particular proteínas) pasando a tener un papel protagónico en Biología Estructural. Si bien en los comienzos la aplicación estaba restringida a proteínas de menos de 30 KDa, a fines de esa década se produjo una inflexión a partir del desarrollo de nuevas técnicas que vencieron esta barrera tecnológica, permitiendo el estudio por RMN de moléculas biológicas o complejos moleculares de gran tamaño.

En la primera década de este siglo se desarrollaron los espectrómetros totalmente digitales que llevaron a mejoras notables en la performance de los instrumentos y las sondas criogénicas (criosondas) con niveles de sensibilidad inimaginables pocos años antes cruciales para el estudio de biomoléculas complejas. Más recientemente el desarrollo de criosondas de bajo mantenimiento que operan a 77 K ha resultado en un aumento sustancial en la sensibilidad en el análisis de moléculas pequeñas. En paralelo continuó el desarrollo de imanes cada vez más poderosos siendo comerciales actualmente los equipos de 28,2 Tesla. En el país solamente se cuenta con equipos de hasta 16,4 Tesla, hay consolas con tecnología digital desactualizada, y solamente dos equipos cuentan con criosondas (que están fuera de funcionamiento), y no existen criosondas de 77K.

En Argentina si bien la técnica fue introducida a fines de la década del 50, la disponibilidad de espectrómetros de RMN estuvo limitada a unos pocos espectrómetros de bajo campo (basados en imanes permanentes y electroimanes) hasta fines de la década del 80, cuando en 1988 comenzó a operar en INTI el primer espectrómetro con imán superconductor de 4,7 Tesla. Sin embargo el cambio más importante se dio en 1991/1992 con la instalación de siete espectrómetros de imán superconductor adquiridos con el programa BID II - CONICET. En ese entonces se incorporaron 4 espectrómetros de 4,7 Tesla (Buenos Aires, Córdoba, Rosario y San Luis), dos de 7 Tesla con capacidad para medir espectros en sólidos (Buenos Aires y Córdoba) y un espectrómetro de 11,7 Tesla que recién comenzó a operar en 1994 en Buenos Aires. Desafortunadamente, por motivos no académicos, este espectrómetro (el único de alto campo del país en ese entonces) no fue instalado en el lugar previsto originalmente y permaneció subutilizado y prácticamente fuera del alcance de la comunidad hasta fines de 1999 cuando ya se había tornado obsoleto. Salvo el equipo de 7 Tesla ubicado en FAMA-UNC con capacidad para adquirir espectros de muestras sólidas y cuya consola fue actualizada en 2006, todos los demás mencionados quedaron obsoletos y están fuera de servicio actualmente.

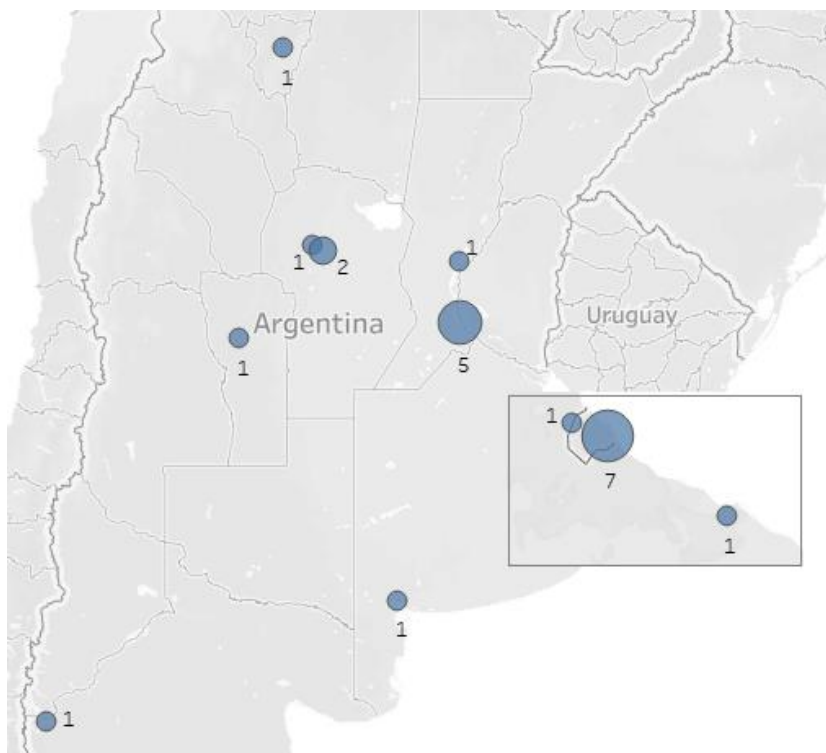
Hubo que esperar 15 años para la siguiente actualización importante de los equipos, de la mano del PME 2003 primero, el PME 2006, la convocatoria PPL y recientemente el PME 2015 que junto a algunas compras aisladas de equipos llevó al parque de espectrómetros existente actualmente y que se resume en la Figura 1. En la convocatoria PME 2003 se instaló el primer equipo de 14,1 Tesla, dedicado a Biología Estructural, y en la convocatoria PPL, se adquirió el primer equipo de 16,4 Tesla, que hoy sigue siendo el de mayor campo disponible en Argentina,

La implementación del SNRM permitió entre 2010 y 2013 la actualización o ampliación de las prestaciones en el 56% de los equipos y significó un avance valiosísimo para el sector. Lamentablemente a partir de mediados de la última década la eficiencia de las líneas de financiamiento del SNRM cayó notablemente debido a la falta de actualización de los montos. Asimismo, muchos financiamientos aprobados debieron ser dados de baja debido a que la devaluación del peso no permitió que se ejecutaran las adquisiciones o mejoras aprobadas.

En el ítem 3.1 se resume el estado actual del parque de espectrómetros y sus capacidades. Los equipos constan de dos unidades principales separadas, el imán superconductor y la consola con todo el control electrónico del sistema que tienen vidas útiles diferentes. La Tabla 1 resume la antigüedad de imanes y consolas por separado.

1 Antigüedad de los equipos de RMN existentes

Año de adquisición	Imanes	Consolas
1990-1995	2	1
1996-1999	4	2
2000-2005	5	8
2006-2012	4	6
2012-2021	7	5
Total	22	22



2 Distribución de espectrómetros de RMN de alta resolución en Argentina.

2.1.1 RMN DE PEQUEÑAS MOLÉCULAS

Los grupos de investigación en Química Orgánica han sido los principales usuarios de la RMN para la determinación de la estructura molecular de moléculas pequeñas (entendiéndose como tales a las de peso molecular menor a 1 kDa) desde la introducción de los primeros espectrómetros comerciales en el país a mediados de la década del 60. Si bien hasta principios de los 90 existían unos pocos espectrómetros de bajo campo, estos fueron centrales para el desarrollo de la Química de Productos Naturales y la Química de Síntesis en Argentina y esto se evidencia en que los focos iniciales de crecimiento de estas sub-disciplinas se dieron en los lugares que disponían de esos equipos (Buenos Aires, Córdoba, Rosario). Otras áreas de la química (inorgánica, organometálica) recién comenzaron a utilizar la RMN a partir de la década del 90 luego de la incorporación de los espectrómetros de mayor campo y en particular a partir de la disponibilidad en el país de unos pocos equipos multinucleares que permitían trabajar con prácticamente cualquier elemento de la Tabla Periódica.

A la fecha el parque de espectrómetros está al límite de cubrir las necesidades básicas de los usuarios, y está amenazado por una creciente obsolescencia tecnológica. En primer lugar la mayoría de estos equipos no son totalmente digitales estando limitados en sensibilidad y estabilidad. La electrónica de más de la mitad de los equipos y muchas de las sondas son anteriores al 2006, lo cual no permite la implementación de nuevas

técnicas o el análisis de muy pequeñas cantidades de muestra. **Por otro lado, la electrónica de las consolas de esta generación ha sido discontinuada comercialmente, lo que compromete el funcionamiento de los equipos en caso de presentarse fallas en las mismas, ya que no existen repuestos comerciales.** Sólo unos pocos equipos tienen capacidad multinuclear, la mayoría estando limitados a la medición de los núcleos de ^1H y ^{13}C . Existen dos espectrómetros de alto campo, 11,7 Tesla en UMYMFOR, Bs. As y 14,1 Tesla en FFyB, UBA, dedicados a prestar servicios generales de espectroscopía de pequeñas moléculas al ámbito académico y a la industria. El equipo de la FFyB-UBA es de uso compartido con aplicaciones de biología estructural. Los equipos restantes son de campo más bajo, 1 de 4,7 Tesla, 1 de 5,9 Tesla, 5 de 7,1 Tesla y 4 de 9,4 Tesla. Hay además 4 equipos con capacidad para obtener espectros de alta resolución en sólidos, 7,1 Tesla, FAMAF, UNC; 11.7 Tesla, YTEC; 9.4 Tesla, CNEA Bariloche (no adherido al SNRM); 11.7 Tesla, Centro de Investigaciones en Bionanociencias Elizabeth Jares Erijman, CIBION. Hay regiones del país que están alejadas de los centros donde se encuentran estos equipos y en consecuencia tienen un acceso menos fluido a la técnica (ver Figura 1). Por otra parte existe una demanda creciente tanto en el sector académico como en la industria (principalmente de laboratorios farmacéuticos y de especialidades medicinales) para acceder a la técnica y en particular a las prestaciones de los equipos de alto campo (11,7 Tesla o mayor).

2.1.2 RMN EN BIOLOGÍA ESTRUCTURAL

La Biología Estructural es una disciplina de alto impacto en el campo de la Biología, la medicina y la biotecnología. Permite identificar la posición en el espacio de cada uno de los átomos que dan lugar a las moléculas biológicas, es decir, conocer la estructura tridimensional de las mismas. A su vez la RMN brinda mapas atómicos que facilitan el análisis rápido y de alta resolución de interacciones moleculares. Este conocimiento permite tanto explicar sus mecanismos de funcionamiento, como dar la posibilidad de modificarlos o corregirlos, usando técnicas genéticas o diseñando pequeñas moléculas (drogas o fármacos) que interactúen de manera específica y eficaz con aquéllos blancos causantes de enfermedades. Ejemplos de esto son el desarrollo de inhibidores de proteínas quinasas en el tratamiento contra distintos tipos de cáncer o de nuevos antibióticos para el tratamiento de infecciones bacterianas emergentes.

La Biología Estructural en Argentina tuvo un desarrollo tardío debido a un desaprovechamiento de la inversión en equipamiento en RMN realizada a finales de la década de 1980, que no se acompañó de una política de formación de recursos humanos acorde, llevando rápidamente a la obsolescencia del único equipo de RMN entonces de alto campo disponible en el país. La falta de inversión en equipamiento en ciencia y técnica en la década de 1990 acentuó más aún esta falencia, que impactó negativamente en el

campo de la Bioquímica en el país, produciendo un atraso de más de una década en el desarrollo de la Biología Estructural.

Recién en 2006 se instaló el primer equipo de 14,1 Tesla en Rosario (IBR-CONICET) y en 2010, se instaló el primer equipo con criosonda en Buenos Aires (14,1 Tesla, FIL). Ambos fueron adquiridos con proyectos PME financiados por FONCyT (PME 2003 y 2006 respectivamente). Luego se adquirieron dos equipos de 14,1 T: en el Laboratorio Max Planck en Rosario y en la Facultad de Farmacia y Bioquímica de la UBA. La incorporación de estos equipos al parque de RMN del país tuvo un impacto notable en el campo de la Bioquímica, al apuntalar el desarrollo de la Biología Estructural en el país, que se complementó con una fuerte formación de recursos humanos inicialmente en Rosario, y luego en Buenos Aires. Cabe notar sin embargo, que la tecnología que se incorporó al país llegó con más de una década de retraso (el primer espectrómetro de 14.1 T en el mundo fue instalado en 1990 y la primer criosonda en el año 2000) y los equipos de mayor campo con que hoy cuenta Argentina son considerados equipos de rutina en cualquier laboratorio de RMN biológica del mundo. En el año 2014, en el marco de un proyecto financiado por FONCyT, se instaló un espectrómetro de 16,4 Tesla en el IBR (Rosario), que se sumó al equipo ya instalado para dar lugar a una Plataforma Tecnológica de Biología Estructural y Metabólica (Plataforma Argentina de Biología Estructural y Metabólica, PLABEM).

Hoy existen en el mercado equipos comerciales con imanes de 28,3 Tesla, técnicas de polarización nuclear (DNP), equipos que trabajan rutinariamente con proteínas de membrana (RMN de sólidos biológicos) y equipos con alta sensibilidad que permiten trabajar con células y organismos multicelulares vivos (*“in cell e in vivo NMR”*), inexistentes en el país. En todos estos casos, se trata de equipamiento de costo elevado, lo que sugiere que debe elegirse criteriosamente la inversión estratégica, evitando duplicaciones y localizando los mismos en lugares con tradición de recursos humanos en el tema, replicando el modelo de grandes centros de Biología Estructural en Estados Unidos y la Unión Europea, que prestan servicio a una comunidad amplia.

2.1.3. RMN EN METABOLÓMICA

La metabolómica y metabonómica constituyen un campo de estudio que tiene como objetivo detectar todos los metabolitos de bajo peso molecular en muestras de origen biológico, y aplica métodos quimiométricos para identificar cambios potencialmente sutiles en sus concentraciones.

En el ser humano los cambios metabólicos se dan como consecuencia de factores múltiples y dependientes de contextos tales como la genética, la dieta, el estilo de vida, el ambiente, estados de enfermedad o

intervenciones farmacológicas. Por lo tanto el análisis de la composición metabólica en una persona tiene valor diagnóstico para la detección de enfermedades, para el seguimiento de tratamientos clínicos o farmacológicos, para el tamizado de enfermedades hereditarias, etc , Los estudios de metabolómica clínica que utilizan Resonancia Magnética Nuclear (RMN) se llevan a cabo generalmente en biofluidos (mayormente orina, extractos fecales y plasma o suero) aunque también suelen utilizarse una amplia gama de otros fluidos (fluído cerebrospinal, fluído ascítico, lavados bronquiales, secreciones prostáticas o fluidos císticos) extractos de células y tejidos, así como también células o especímenes de tejido intacto (por ejemplo biopsias, aspirados de agujas).

Además de de su aplicación en el área biomédica, en los últimos años ha crecido de manera vertiginosa el uso de RMN en el análisis de alimentos en todo el mundo. La metabolómica por RMN se aplica en el análisis de vinos, jugos, miel, aceites y productos lácteos. La capacidad de detectar tanto adulteraciones como el origen geográfico de los alimentos, y por lo tanto de validar valor agregado que confiere la denominación de origen, han convertido a la RMN en un método de referencia. Actualmente se comercializan instrumentos armados específicamente con este fin.

En nuestro país la metabolómica es un campo en desarrollo. El espectrómetro de 11,7 Tesla de UMYMFOR (Bs. As.) participa desde hace varios años en un proyecto conjunto con la Fundación para la Lucha contra Enfermedades Neurológicas de la Infancia (FLENI) en el estudio metabolómico de tumores gliales para su caracterización y seguimiento. Los espectrómetros de la PLABEM en Rosario Rosario (14.1 y 16.5 Tesla) se han utilizado en estudios metabolómicos en la clínica, en investigación básica y en el análisis de alimentos.. Estos incluyen en análisis de muestras de pacientes postquirúrgicos, proyecto en conjunto con el Hospital Provincial del Centenario, Santa Fe, el estudio metabolómico de distintas especies de tomates, en el contexto de una red latinoamericana de Solanáceas, junto con el INTA, el análisis de calidad de la miel con cooperativas de productores regionales y otros proyectos Si bien en Medicina la RMN se encuentra bien posicionada para la obtención de imágenes, **no existen espectrómetros de RMN dedicados a estudios metabólicos en centros de salud, ni en centros de investigación en Ciencias Médicas del país**, lo cual constituye una carencia notable si se compara con la mayoría de los centros de salud de Estados Unidos y Europa. Argentina produce y exporta alimentos de alta calidad (carnes, vinos, miel, aceites) y existe a su vez un mercado importante en la industria biotecnológica local (transgénicos, ingeniería metabólica, etc) que requerirá del uso creciente de esta técnica, en combinación con la espectrometría de masas. La constitución de la PLABEM en Rosario permitió atender la demanda inicial, pero la disponibilidad de tiempo de medición es actualmente insuficiente, requiriéndose multiplicar la inversión en Metabolómica e incorporando a otros centros del país que trabajen de manera coordinada. El equipo próximo a instalarse en el CIBION permite trabajar en tejidos sólidos, lo que complementa las prestaciones del equipo en PLABEM, pero sin duda que

es un área en crecimiento que tendrá más requerimientos en el futuro cercano en el campo de la biología y en el sector privado, tanto en alimentos como en medicina traslacional.

2.1.4 RMN EN SÓLIDOS, MICROIMÁGENES, NUEVOS MÉTODOS

Si bien uno de los primeros experimentos de lo que hoy conocemos como Resonancia Magnética Nuclear fue realizado en un material sólido, recién en 1967 Andrew mostró experimentalmente la capacidad de obtener espectros de alta resolución en sólidos por la técnica de rotación al ángulo mágico (MAS). Desde entonces, la RMN se ha convertido en una herramienta física excepcional para investigar materiales sólidos. Su rango asombroso, abarca materiales diversos como: huesos, cerámicos, materiales inorgánicos, alimentos, cristales líquidos, polímeros, proteínas, superficies de variado origen, superconductores, zeolitas, metales, cemento, madera, membranas, suelo, carbón, gomas, vidrios y hasta hielo Antártico, y áreas de aplicación también diversas como el desarrollo de medicamentos, geología, catálisis, procesado de alimentos, intercambio cuántico, transiciones de fase, detección de explosivos, etc.

En Argentina, los primeros espectrómetros de alta resolución para sólidos provistos de un imán superconductor de 7,1 Teslas, fueron instalados en 1991 en la Facultad de Farmacia y Bioquímica de la UBA y en 1992 en la Facultad de Matemática, Astronomía y Física de la Universidad Nacional de Córdoba como parte de los proyectos LANAIS (Laboratorios Nacionales de Investigación y Servicios). Desde entonces, el Grupo de Resonancia Magnética Nuclear de la FAMAFA ha sido el único grupo en el país dedicado a la investigación por RMN de alta resolución de materiales sólidos. En la actualidad hay otros cuatro equipos con cierta capacidad para realizar RMN en materiales sólidos, estos son: un equipo de 14,1 Tesla en la FFyB-UBA, un equipo de 9,4 Tesla en el IQUIR, Rosario; estos dos equipos sin bien son principalmente destinados a RMN en solución tiene capacidad para realizar algunos experimentos en sólidos. Un equipo de 9,4 Tesla en CNEA, Bariloche y un equipo de 11,8 Tesla en YTEC, Ensenada, Buenos Aires. Este último equipo tiene capacidad tanto para sólidos como para líquido y se está usando intensivamente para realizar experimentos de RMN en sólidos.

En el año 2006, se realizó una actualización del espectrómetro del FAMAFA-UNC, incorporándose la capacidad para realizar microimágenes. Si bien las mayores aplicaciones de las imágenes por RMN son en el área de la medicina, existe una gran variedad de procesos que pueden ser estudiados por esta técnica, que van desde la caracterización de alimentos hasta el entendimiento de procesos básicos en la química. El desarrollo de esta temática requiere actualmente del uso de espectrómetros de alto campo con facilidades de gradientes tridimensionales para la adquisición de las imágenes, que aún no están disponibles en nuestro país.

La RMN es también capaz de resolver la dinámica molecular de diferentes líquidos confinados espacialmente en materiales meso- y nanoporosos. Este tipo de estudio es considerado actualmente un estándar en la industria petrolera para determinar las características del subsuelo donde se encuentra el petróleo. Una de las variantes de la RMN, la relaxometría por ciclado rápido de campo magnético (FFC) también disponible en FAMAF-UNC, se aplica al estudio de dinámica molecular, en particular en sistemas supramoleculares del tipo de micelas y vesículas.

2.2 RESONANCIA PARAMAGNÉTICA ELECTRÓNICA (RPE)

La espectroscopía de RPE tuvo su inicio en 1944 por experimentos de Zavoisky en Kazan (Rusia). Sus avances se vieron favorecidos por el desarrollo de las comunicaciones basadas en microondas (radiación electromagnética usada para inducir las transiciones de RPE), durante la segunda guerra mundial. En la Argentina, los primeros espectrómetros de RPE fueron instalados en la década del 60 en el Centro Atómico Bariloche y en la FCEN-UBA, dedicados a investigación básica en Física y Química del Sólido. El equipo de la FCEN-UBA fue dado de baja aproximadamente en 1975. En las décadas del 60 y 70 funcionaron espectrómetros de RPE en el Instituto Malbrán y en CNEA - Bs As, pero se desconoce qué uso tuvieron y cuándo fueron dados de baja. En 1983 se instaló un equipo en INTEC (CONICET-UNL) en Santa Fe, utilizado inicialmente en Física del Sólido y posteriormente también en Biofísica y Biofísicoquímica de sistemas biológicos y sus modelos, metaloproteínas, biomembranas. Este equipo, actualmente no operativo, pasó a depender del IFIS Litoral y se espera que pueda ser refuncionalizado a partir de su traslado al Laboratorio de Resonancia Paramagnética Electrónica que funciona en la FBCB-UNL. El laboratorio de RPE en Bariloche se potenció en 1987 con la adquisición de un espectrómetro Bruker ESP300, bandas X, Q y L (LANAIS de Materia condensada y CNEA) que se utilizó para estudiar materiales magnéticos tanto con impurezas como ordenados, superconductores, y más recientemente también en materiales magnetorresistentes, films, nanohilos y nanopartículas. Posteriormente se instaló un equipo en la FFyB de la UBA en Bs. As (radicales libres y estrés oxidativo). El PME 2006 permitió la adquisición de nuevo equipamiento para los laboratorios de Mar del Plata, FFyB de Bs As, Santa Fe y Bariloche.

Actualmente solo están en funcionamiento el equipo instalado en el laboratorio de Resonancia Magnética de la FBCB-UNL, Santa Fe, y que es de uso compartido por un consorcio de 5 Universidades Nacionales (UNR, UBA, UNC, UNT, UNL), y las facilidades de Bariloche (Bandas K, Q, criostato, controlador de temperatura), permitiendo la realización de experimentos desde 2K hasta 1000 K. En la primera década de

este siglo se instaló un espectrómetro multipropósito en el Centro Atómico Ezeiza de la CNEA en el grupo de dosimetría. El mismo centro cuenta con otro equipo más pequeño, dedicado a dosimetría, que utiliza como patrón L-alanina irradiada (equipos no adheridos al SNRM). En la Tabla 2 se resume la antigüedad de los equipos que están operativos o que potencialmente podrán estarlo y en la Figura 2 se muestra la distribución de espectrómetros de RPE en el país.

2.3 COMUNIDAD DE USUARIOS DE RESONANCIA MAGNÉTICA EN EL PAÍS

La comunidad de usuarios de Resonancia Magnética en Argentina está constituida actualmente por una masa importante de investigadores con distintos intereses disciplinarios, mayormente en química, y en número algo menor en bioquímica/biología y física. Por su importancia en la determinación de la estructura de moléculas, la RMN está incluida en la currícula de todas las carreras de química y bioquímica. El campo de la química es también el que comprende la mayor cantidad de usuarios dentro del sector privado. En el caso de la RPE la comunidad de usuarios es más pequeña y la técnica se encuentra menos difundida. Es decir, que se observa una distribución temática y de usuarios similar a la que ocurre en países con tecnología de punta, pero con una menor presencia de las aplicaciones más modernas debido a que el equipamiento disponible no incorpora los nuevos avances tecnológicos, tales como RPE de alta frecuencia (94 GHz y superiores) y RPE por pulsos de microondas.

3 Antigüedad de los equipos de RPE en el país adheridos al SNRM.

Año de adquisición	Equipos	Estado
1989	Bariloche	Operativo
1995	FFyB-UBA	Fuera de servicio
2008-2009	Sta Fe	Operativo
	UNMdP	Operativo
	FFyB-UBA	Fuera de servicio
2015	Bariloche	Operativo
Total	6	

De los equipos mencionados en la Tabla 2 solo tres (1 EM Santa Fe y 2 en Bariloche) están 100 % operativos. El resto requeriría de un *service* especializado para diagnóstico y reparación de las fallas. Hay un equipo ER200 en Santa Fe instalado en 1983 que eventualmente podría ser refuncionalizado (no adherido al SNRM).



4 Distribución de espectrómetros de RPE en Argentina. En verde los operativos, y en naranja los fuera de servicio.

Históricamente en Argentina el nivel de comunicación entre los grupos de investigación que utilizan la RMN y los que utilizan la RPE, ya sea como técnicas analíticas o como principal línea de investigación, ha sido bajo. La creación del Sistema Nacional de Resonancia Magnética en el año 2010 fue un paso importante para revertir esta situación de disgregación disciplinar y articulación institucional desde una perspectiva nacional para las decisiones relacionadas con el equipamiento y para la formación de Recursos Humanos. Cabe destacar la realización de cuatro Talleres apoyados por el SNRM (Alta Gracia 2011, Rosario 2013, Santa Fe 2016, Buenos Aires 2018) para fomentar la interacción entre los investigadores que trabajan en estas áreas de la resonancia magnética.

2.4 DEMANDA DESDE EL SECTOR PRODUCTOR DE BIENES Y SERVICIOS.

La gran mayoría de las demandas de servicios provenientes de usuarios del sector privado están relacionadas con la RMN de moléculas pequeñas en solución debido fundamentalmente a la extraordinaria capacidad de

la técnica para el análisis de la estructura molecular. Dentro de éstas el sector de la industria farmacéutica requiere de la RMN para la caracterización de drogas no codificadas de acuerdo a las reglamentaciones de ANMAT-INAME (Boletín Oficial 30416 de 2004). Además otros medicamentos de uso habitual requieren un análisis por RMN, un caso representativo es la heparina sódica, ya que ésta técnica es la única capaz de detectar la contaminación con condroitín sulfato sobresulfatado, un contaminante que produjo varias muertes en los Estados Unidos en 2007-2008. En este sentido y para remarcar la importancia del análisis de medicamentos mediante RMN, los servicios de RMN fueron declarados actividades esenciales durante todo el periodo ASPO y DISPO dispuesto por las autoridades sanitarias debido a la pandemia COVID-19, recibiendo muestras de varias empresas farmacéuticas. Un aspecto aún poco desarrollado en el país es la aplicación de la RMN de sólidos al análisis de activos farmacéuticos. Sin embargo existe una demanda incipiente y en crecimiento de este tipo de aplicaciones para la caracterización de polimorfos y el estudio de interacciones en productos formulados. La principal limitación radica en la escasez de espectrómetros que puedan brindar este servicio, actualmente sólo disponible en un equipo de FAMA-UNC.

Un segundo sector que utiliza regularmente la RMN es la industria de agroquímicos, aprovechando la capacidad única de la técnica de permitir análisis cuantitativos sin la necesidad de contar con estándares certificados de los analitos en estudio, que en muchos casos no están disponibles comercialmente. En este contexto hace ya varios años que SENASA ha aprobado el uso de la RMN cuantitativa en la valoración de agroquímicos. Más recientemente la RMN cuantitativa se ha comenzado a aplicar en la industria farmacéutica para la valoración de drogas que no cuentan con estándares certificados.

Para la mayoría de estas aplicaciones se recomiendan espectrómetros de campo 11,7 Tesla o superior, si bien es factible utilizar en muchos casos espectrómetros de 9,4 Tesla e incluso de 7,1 Tesla.

Más recientemente, se ha utilizado la RMN para la validación de medicamentos biológicos genéricos, conocidos como biosimilares, que consisten en proteínas recombinantes cuya producción en Argentina tiene una enorme proyección. La PLABEM ha utilizado sus dos espectrómetros (14.1 y 16.5 Tesla) para prestar servicios de caracterización de biosimilares a empresas locales que permitieron su aprobación por vía abreviada. Debido a que los biosimilares son moléculas de mayor tamaño, para estos estudios es necesario utilizar equipos de 14.1 Tesla o mayores. A su vez, las concentraciones de biosimilares para una formulación suele ser baja con lo cual es necesario utilizar sistemas con sondas criogénicas, lo cual aumenta la sensibilidad de la detección entre 3 y 4 veces. La falta de este tipo de equipamiento ha disminuido notoriamente el número de servicios que se pueden prestar, restringiéndolos solamente a aquellos pocos donde las concentraciones de material son suficientes para las determinaciones.

En lo que respecta a la RPE, ésta es la técnica por excelencia para la identificación de especies paramagnéticas y caracterización de su entorno en aisladores y semiconductores “bulk” y nanoestructurados, proveyendo una herramienta valiosa para la caracterización de materiales con aplicaciones en nanoelectrónica y nanofotónica, materiales para detección y conversión de radiación, y otros. La resonancia ferromagnética se utiliza regularmente para caracterizar nuevos materiales magnéticos, tanto masivos como nanoestructurados en forma de películas, hilos, tubos, y nanopartículas, permitiendo identificar distintas fases, anisotropías y mecanismos de relajación en muestras magnéticas diluidas y concentradas. Se caracterizan, además, nanopartículas magnéticas para uso estudios básicos y en aplicaciones biomédicas y diferentes especies magnéticas en catalizadores; se han realizado estudios básicos de absorción de microondas en petróleo, aplicaciones de interés nuclear y sensores de radiación. Recientemente, a partir de un subsidio de la Secretaria de Políticas Universitarias (SPU) en la Convocatoria 2017 de Proyectos de Innovación Tecnológica “Agregando Valor”. (VT38-UNL8996), se puso a punto la técnica de RPE para el Análisis y Monitoreo de la Estabilidad de la Cerveza mediante RPE. Este proyecto permitió vincular al grupo de RPE de la UNL, el cual aportó la experticia técnica en RPE, y la empresa CCU que produce las cervezas Heineken, Schneider, y Santa Fe entre otras, quien proveyó de muestras en distintas etapas de producción de la cerveza y el producto terminado. También dentro del grupo de RPE se originó una spin-off (Lipomize SRL) que desarrolla nutracéuticos, fármacos y dermocosméticos encapsulados en liposomas, cuyas propiedades son monitoreadas por RPE.

Actualmente existen unos pocos espectrómetros de RMN y de RPE en la industria local, en laboratorios de análisis de alimentos. Las razones principales son el alto costo inicial y el elevado costo de mantenimiento (especialmente de los equipos con imanes superconductores) que no pueden ser compensados con el uso, además de requerir personal altamente especializado para la operación y mantenimiento. Es por ello que la demanda debe ser satisfecha en su totalidad con los espectrómetros del parque en manos del sector estatal, conformado por Universidades, unidades divisionales de CONICET, el INTI y la CNEA. La reciente expansión de la industria Biotecnológica llevará en breve a la demanda del uso de la técnica para estudios metabólicos y estructurales de macromoléculas biológicas, situación que también deberá ser atendida por el sector estatal.

2.5 LAS RESONANCIAS MAGNÉTICAS (RM) EN EL CONTEXTO DEL DOCUMENTO PRELIMINAR DEL PLAN NACIONAL DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN 2030.

Como menciona el documento preliminar del “Plan Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación 2030”, en el contexto crítico de la pandemia COVID, “la capacidad de respuesta de las actividades de I+D+i han cobrado

un rol protagónico a partir de la demanda de una amplia gama de soluciones”. Entre estas demandas se encuentran, por ejemplo, los diagnósticos y tratamientos farmacológicos. Aquí debemos hacer hincapié en la tremenda importancia que tienen las Resonancia Magnéticas en estas dos demandas. El desarrollo y la aprobación de nuevos fármacos es impensada sin la técnica de la Resonancia Magnética y en nuestro país los grupos de investigación dedicados a Resonancia Magnética han dado y continúan dando sobradas muestras de participación y compromiso en el área farmacéutica. Casi sería innecesario mencionar el inmenso aporte de la Resonancia Magnética al diagnóstico por imágenes. Acá también debemos mencionar que en nuestro país hay grupos de investigadores que se dedican al desarrollo de nuevas técnicas de imágenes por RM, ya sea desde el desarrollo de nuevas secuencias de pulsos hasta el desarrollo de nuevos equipos de imágenes por RM de campo ciclado.

El documento preliminar mencionado, también destaca la necesidad de agregar valor a los productos primarios que se producen en Argentina, particularmente en el sector agroalimentario. Nuevamente aquí, y sobran ejemplos de investigaciones en Argentina, las RM hacen un aporte fundamental al estudio y caracterización de alimentos con valor agregado.

Argentina es un país rico en yacimientos no convencionales de hidrocarburos, siendo el más nombrado Vaca Muerta en la cuenca Neuquina. Esta es otra área donde las RM hacen su aporte fundamental y nuevamente nos encontramos aquí con grupos de investigación en RM en Argentina que dedica sus esfuerzos de investigación y transferencia tecnológica en este campo.

Así podríamos mencionar casi todas las áreas productivas, mencionadas en el documento preliminar del Plan Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación 2030, donde las RM hacen su aporte. No podemos tampoco dejar de mencionar las nanotecnologías y la biotecnología.

Es decir la RM es una técnica que hace su aporte transversal a prácticamente todos los lineamientos principales de los Planes de Ciencia, Tecnología e Innovación de Argentina.

3. ESTADO DE SITUACIÓN ACTUAL DEL EQUIPAMIENTO DE RMN Y RPE EN EL PAÍS. DIAGNÓSTICO Y PRINCIPALES PROBLEMÁTICAS

3.1 ESPECTRÓMETROS DE RESONANCIA MAGNÉTICA NUCLEAR (RMN)

El país cuenta con un total de 23 espectrómetros de resonancia magnética nuclear (Figura 1), 3 de los cuales se encuentran temporalmente fuera de servicio y 1 aún no ha sido instalado. Como se mencionó en el ítem anterior, la última incorporación generalizada de nuevos equipos y tecnología se dio durante el período 2005-2010 con la concreción de los PME 2003 y 2006. Más recientemente (2011) se incorporaron 2 nuevos equipos, 1 de los cuales no pertenece al SNRM y el otro aún no se encuentra en operación y en 2014 se incorporó el equipo de 16.4 T del IBR-CONICET y PLABEM. A la fecha 19 equipos se encuentran adheridos al SNRM.

Más de la mitad de los espectrómetros tienen imanes antiguos; si bien las prestaciones en cuanto a calidad de medición no difieren de las de los imanes modernos, los nuevos modelos son considerablemente más eficientes en cuanto al consumo de líquidos criogénicos y tienen blindajes que disminuyen los riesgos del elevado campo magnético. Por otra parte la mayoría de los imanes en uso tienen sus días contados ya que se están acercando al fin de su vida útil que se estima en 15 años.

En función de los instrumentos de financiación provistos por el SNRM en el período 2011-2013 se han mejorado las prestaciones y realizado actualizaciones en 12 espectrómetros.

Sin embargo el elevado costo de una actualización completa o del recambio de los imanes (especialmente los de mayor campo) está fuera del alcance de los instrumentos disponibles en el SNRM.

Si bien los equipos adheridos al SNRM están distribuidos en distintas regiones del país (Figura 1), hay zonas que tienen un acceso limitado a la técnica. Tal es el caso de las Universidades de la región patagónica en el sur, de la Universidad de la Pampa en el centro, de las Universidades de Salta y Jujuy en el NOA y de las Universidades de Santiago del Estero, Nordeste y Misiones. Otras Universidades con potenciales usuarios que no tienen acceso fluido a la técnica son la UNMdP y la UNSJ. En la mayoría de estos lugares sin embargo resultaría extremadamente difícil instalar y solventar el costo de mantenimiento de espectrómetros con imanes superconductores que requieren una provisión regular de líquidos criogénicos (helio y nitrógeno). Es por ello que deben analizarse otras alternativas.

3.2 ESPECTRÓMETROS DE RESONANCIA PARAMAGNÉTICA ELECTRÓNICA (RPE)

En el país hay 6 equipos de RPE, todos de onda continua (CW), que se encuentran dentro del promedio de su vida útil, o equipos viejos que debido al mantenimiento continuo de sus operadores han logrado sobrepasar su vida útil (Tabla 2), que se encuentran adheridos al SNRM. El SNRM ha permitido mejorar las prestaciones en varios de ellos. Algunos equipos operan con interrupciones debido a su antigüedad (más de 20 años),

pero podrían recuperarse con el reemplazo de ciertos módulos (consolas y puentes de microondas). De los equipos con los que cuenta el país, solo tres de ellos se encuentran operativos con todas sus funcionalidades (dos de Bariloche y el de Santa Fe), estando el resto fuera de funcionamiento en este momento. En particular, el equipo de Santa Fe presta servicios a grupos de investigación de distintas universidades (UNR, UNL, UNSL, UNLP, UNT, UBA, UNC, UdelaR-Uruguay) que no formaron parte del consorcio de adquisición del espectrómetro, pero que requieren de la técnica. Por lo tanto se requiere no solo realizar esfuerzos en mantener operativo un equipo que ya tiene más de 10 años de funcionamiento continuo, sino también aumentar sus capacidades operativas. Una consideración similar es aplicable al equipo más antiguo de Bariloche que es el único en el país en el que pueden realizarse mediciones desde temperaturas de He líquido y hasta 900K y a distintas frecuencias. El laboratorio de RPE de Bariloche mantiene colaboraciones con centros de investigación del país y del extranjero.

3.3 IMPACTO DEL SISTEMA NACIONAL DE RESONANCIA MAGNÉTICA (SNRM)

Hasta el momento y desde su creación, el Sistema Nacional de Resonancia Magnética ha logrado:

- Generar un ámbito de discusión de nivel interinstitucional de los problemas comunes en los responsables, gestores y usuarios de equipos de Resonancia, tales como la provisión, mecanismos de distribución y altos costos de los líquidos criogénicos.
- Crear un espacio de planificación para la adquisición y actualización de equipos de alto costo, de modo que no respondan solamente a iniciativas individuales y eviten duplicaciones innecesarias, así como prevenir la instalación de equipos de alto costo y mantenimiento complejo en lugares sin RRHH calificados para la operación y uso.
- Proveer un mecanismo de actualización y ampliación de prestaciones de equipos de alto costo, cuya ausencia ha sido una gran falencia no sólo en el país sino en la región para todo equipamiento costoso. Este mecanismo ha sido exitoso y ha permitido al momento incorporar accesorios para mejorar las prestaciones en 10 espectrómetros y, se han actualizado las consolas de 3 espectrómetros. Finalmente se encuentran en distintas etapas de ejecución proyectos de mejora de 3 equipos que permitirán que los mismos vuelvan a brindar servicios en forma confiable y acordes a las capacidades instaladas.
- Diseñar una estrategia y una serie de herramientas para la formación de Recursos Humanos. Se destacan los cursos de RPE realizados en Santa Fe en 2011, 2014, y 2016 financiados por el SNRM, el

Congreso ISMAR en Córdoba en 2011 y los cuatro Talleres realizados entre 2011 y 2018. El curso de RPE en Sta Fe del 2016 se realizó en paralelo con uno de RMN en el marco del III Taller de RM.

- Hacer conocer la ubicación geográfica de los equipos y sus capacidades promoviendo e incentivando un uso abierto a la comunidad científica y a usuarios del ámbito privado.
- Realizar eventos de sensibilización del sector productivo sobre la disponibilidad de los equipos de RM, prestaciones disponibles y capacidades instaladas en el ambiente académico.

5 Montos anuales aportados por el SNRM desde su creación, discriminados por línea de financiamiento.

Año	Línea de financiamiento		
	Adquisiciones complementarias (USD) ^a	Mejoras (USD) ^a	Formación de RRHH (USD) ^a
2010	286.007	29.077	10.222
2011	368.384	-	-
2012	78.984	27.515	-
2013	20.585	-	20.761
2014	125.096	-	31.740
2015	-	-	44.804
2016	42.197	-	-
2017	-	-	-
2018	26.807	-	-
2019	6.287	-	-
2020	38.601	35.263	-
Totales	992.948	91.855	107.527

^a Calculados según el cierre de la cotización del primer día hábil del mes de junio del año correspondiente, según http://www.bcra.gob.ar/PublicacionesEstadisticas/Planilla_cierre_de_cotizaciones.asp

Los montos de proyectos aprobados desde la creación del SNRM se resumen en la **Tabla 3**. Para poder hacer un análisis retrospectivo, si bien los financiamientos se reciben en pesos, los montos anuales aportados por el SNRM se muestran en dólares estadounidenses calculados según el cierre de la cotización del primer día hábil del mes de junio del año correspondiente. La acentuada cantidad de solicitudes recibidas en los dos primeros años muestra la necesidad que existía en el sistema de contar con este tipo de mecanismos. Por otra parte la disminución posterior es producto de varios factores como por ejemplo las importantes devaluaciones de nuestra moneda, la no actualización de los montos máximos de las distintas líneas de financiación según las devaluaciones mencionadas y, la imposibilidad de las IB de aportar las contrapartes requeridas por las bases de las líneas de financiación. Esto explica en gran medida que más del 90% de los

aportes del SNRM se recibieran entre 2010 y 2014. Después de estos años las necesidades del parque de resonadores existente ya no pudieron ser cubiertas por los instrumentos disponibles en el SNRM.

De lo dicho anteriormente surge la importancia estratégica de mantener actualizados los montos máximos de las líneas de financiamiento del SNRM a fin de que vuelva a ser uno de los pilares fundamentales para el mantenimiento del parque de equipos existente, como lo fue en los primeros años de su creación.

3.4 ANÁLISIS DE FORTALES, OPORTUNIDADES, DEBILIDADES Y AMENAZAS

A partir del relevamiento realizado por el SNRM es posible plantear la matriz FODA que se presenta a continuación que caracteriza / describe la situación actual y el funcionamiento del parque de equipos de RMN y RPE.

6 Análisis FODA

	FORTALEZAS	DEBILIDADES
ANÁLISIS INTERNO	Recursos humanos de alta calidad con amplia experiencia en el mantenimiento y uso del equipamiento.	Falta de equipamiento de última generación que permita acceder a los últimos avances y a nuevas prestaciones.
	Comunidad de usuarios directos integrada y con buena comunicación.	Obsolescencia creciente del parque de espectrómetros y especialmente de los imanes.
	Prestación de servicios en forma abierta, alcanzando a los grupos de investigación del área de influencia y a usuarios del sector privado.	Dificultad para acceder a la técnica por parte de usuarios en las regiones más alejadas del país.
		Falta de Recursos Humanos formados en nuevas tecnologías (por ejemplo, metabolómica y RMN de sólidos biológicos).
	OPORTUNIDADES	AMENAZAS
ANÁLISIS EXTERNOS	Interés del Estado Nacional en el desarrollo en Ciencia y Tecnología.	Existencia de un único fabricante de equipos de RMN de alto campo y de RPE.
	Consolidación del SNRM como ámbito de análisis y discusión de políticas y estrategias.	Discontinuidad de la disponibilidad de repuestos para las consolas disponibles en el país.
	Inversión del Estado en el área.	Dificultades en la provisión de helio líquido en tiempo y forma.
	Parque de RMN y RPE del sector público	

estatal (universidades y OCT) es único oferente de servicios en distintas áreas.

Necesidad creciente en la industria para ganar competitividad y validación para exportación.

Falta de instrumentos específicos de financiamiento para mantenimiento y reparaciones mayores.

El alto costo de los equipos vuelve más vulnerable un plan a largo plazo por las continuas devaluaciones del peso.

La combinación de oportunidades y debilidades presenta una serie de desafíos que deberán encararse para asegurar el desarrollo y afianzamiento de la técnica y poder realizar ciencia y tecnología competitiva. La combinación de fortalezas y oportunidades muestra que el sector tiene excelentes potencialidades y permite plantear el plan estratégico y las líneas de acción que se presentan abajo.

4. PLAN ESTRATÉGICO

4.1 OBJETIVOS GENERALES DEL PLAN

- A. Garantizar que el parque de equipamiento de RMN y RPE en el país esté completamente operativo, con tecnología que permita mantener la competitividad científica y de prestación de servicios.
- B. Fortalecer la formación de investigadores no especializados en las áreas de RMN y RPE para lograr un más amplio acceso a la técnica mediante capacitación y asistencia guiada en los espectrómetros de grandes prestaciones.
- C. Ampliar los servicios a través de la adquisición incremental de **equipamiento más sofisticado** que permita que el país pueda ofrecer respuestas competitivas a las carencias y problemas en este sector, **cobertura de áreas de vacancia geográfica** y mediante la adquisición de **equipamiento clave** asociado a recursos humanos calificados en el país, que se pueda integrar con un acceso coordinado a las grandes facilidades internacionales, en particular las europeas, que son financiadas por los distintos estados y por la Unión Europea.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS DEL PLAN

- Mantener actualizado el parque de espectrómetros de modo de asegurar una prestación confiable y al nivel de los requerimientos de la investigación científica y de las necesidades del sector productor de bienes y servicios.
- Expandir el acceso a la resonancia magnética nuclear y la resonancia magnética electrónica a regiones del país que aún no tienen acceso directo a la técnica.
- Fortalecer y expandir el acceso a las técnicas menos desarrolladas como la RMN en sólidos, RMN aplicada a Biología Estructural, microimágenes, resonancia doble nuclear-electrónica (ENDOR), RPE pulsado. Impulsar la realización de experimentos de resonancia ferromagnética utilizando analizadores de redes que permiten trabajar de 1 a 50 GHz de manera continua, con aplicaciones en espintrónica.
- Complementar los objetivos anteriores con capacitación de los actores tanto a nivel de usuarios como de personal especializado para mantenimiento y operación de los equipos.

4.3 LÍNEAS DE ACCIÓN

La Tabla 4 resume las líneas de acción a instrumentar y las acciones específicas. Un detalle de los aspectos técnicos de las mismas se presenta en el **Anexo**.

7 Líneas de Acción

	Línea de acción	Acciones específicas
1	Satisfacer necesidades actuales	<ul style="list-style-type: none"> • Reemplazo parcial o total de equipos obsoletos • Actualización de equipos existentes • Adquisición de nuevos equipos de altas prestaciones
2	Reforzar áreas de vacancia o en crecimiento	<ul style="list-style-type: none"> • Adquisición de nuevos equipos con prestaciones no disponibles en el país • Adquisición de equipos aptos para lugares alejados que actualmente no tienen acceso fluido a la técnica. • Adquisición de equipos con prestaciones básicas para uso de rutina
3	Formar RRHH capacitados	<ul style="list-style-type: none"> • Capacitación de operadores • Capacitación de usuarios • Capacitación de investigadores en técnicas de avanzada.
4	Cooperación Internacional	<ul style="list-style-type: none"> • Aprovechamiento de las redes internacionales para el acceso a instrumentación de punta no disponible en el país.

A continuación se resumen los aspectos centrales de cada una de estas líneas:

LÍNEA 1: SATISFACER NECESIDADES ACTUALES

Está orientada por un lado a resolver problemas derivados de la obsolescencia del parque de espectrómetros y por otro, a ampliar el número de equipos de altas prestaciones en función de la demanda creciente detectada. Para ello se propone el plan de adquisición de equipos y actualizaciones que comprende a) la actualización de equipos que se encuentran operativos y en buen estado para asegurar su funcionamiento futuro y adecuarlos a la tecnología actual, b) el reemplazo de equipos que si bien se encuentran en funcionamiento su antigüedad hace casi imposible su mantenimiento por inexistencia de repuestos y no son pasibles de una actualización y c) la adquisición de equipos de altas prestaciones para satisfacer la demanda creciente tanto de parte del sector académico como del sector productor de bienes y servicios.

LÍNEA 2: REFORZAR ÁREAS DE VACANCIA O EN CRECIMIENTO

Se propone un plan de adquisición de equipamiento que incorpore los avances recientes en resonancia magnética y provea acceso a técnicas y metodologías aún no disponibles en el país. En paralelo se propone la adquisición de a) equipamiento específico de bajo mantenimiento para zonas alejadas de los centros con grandes equipos, de modo de proveer acceso a la resonancia magnética a investigadores de esas regiones del país y b) equipamiento de prestaciones básicas para complementar a aquellos equipos que se encuentran sobrecargados ampliando la disponibilidad del servicio y logrando un mejor aprovechamiento de los recursos más sofisticados.

LÍNEA 3: FORMAR RECURSOS HUMANOS CAPACITADOS

Un aspecto fundamental a considerar en la incorporación de nuevo equipamiento y nuevas prestaciones es que esa incorporación debe estar acompañada de un **plan de capacitación de los recursos humanos disponibles en la institución donde se ubicará el equipo y/o de un plan de radicación de recursos humanos capacitados**. El presente plan propone diversas acciones que se encararían desde el SNRM, para promover la formación de recursos humanos en el país transfiriendo *know-how* de una región a otra, de modo de permitir la instalación de equipos básicos en lugares huérfanos y asegurar el funcionamiento continuado de los existentes. También se considera estratégica la formación de recursos humanos en sectores de avanzada que tienen un desarrollo local incipiente o nulo promoviendo la capacitación de investigadores en centros de excelencia del exterior mediante becas doctorales o postdoctorales y pasantías. Debe prestarse especial

atención a la posibilidad de ofrecer mecanismos de repatriación de RRHH formados y/o a la formación de RRHH en el exterior en estos sectores clave.

LÍNEA 4: COOPERACIÓN INTERNACIONAL

En el caso de la Biología estructural, el equipo más potente disponible en el país es de 16,4 T, mientras que ya existen equipos comerciales de 28,2 T. La adquisición de estos equipos de ultra alto campo no es factible para el país, tanto por el costo del equipo como por el del mantenimiento. Sin embargo, estos instrumentos están disponibles en Facilidades Internacionales de acceso abierto, con las cuales el Sistema Nacional debería vincularse aprovechando relaciones ya establecidas previamente.

En los **Anexos I y II** del Plan Estratégico se presenta un análisis detallado de las acciones propuestas, y también se incluye un detalle del equipamiento a adquirir en los próximos 5 años para alcanzar los objetivos específicos propuestos.

1. ACCIONES DE CARÁCTER URGENTE PARA GARANTIZAR EL CORRECTO FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA DE EQUIPOS DISPONIBLES EN ESTADO DE OBSOLESCENCIA O AL BORDE DE LA MISMA, Y ADQUISICIÓN DE NUEVOS EQUIPOS DE ORDEN BÁSICO. ESTAS ACCIONES INCLUYEN NUEVOS EQUIPOS, ACTUALIZACIONES Y MANTENIMIENTO DE LOS EXISTENTES.

- 1.1. Actualizar las consolas Avance II (adquiridas en 2005), que han sido discontinuadas y para las cuales Bruker no provee repuestos. Esto afecta un conjunto de 10 equipos de RMN en el país al borde de la obsolescencia o a la falta de funcionamiento por periodos prolongados. Se sugiere el reemplazo de estas consolas por consolas Neo, actualmente comercializadas por Bruker en sus nuevos equipos. Seis de estos diez equipos tienen imanes superconductores en buen estado, por lo cual solamente se sugiere el reemplazo de las consolas, con sondas compatibles con la nueva electrónica de la misma.
- 1.2. Un grupo de 4 equipos de RMN, uno de sólidos y tres de solución, poseen imanes superconductores anteriores a 2005 (algunos de ellos de la década del 90). En este caso se sugiere la adquisición de equipos completos por la obsolescencia de los imanes, muchos de los cuales además son de alto consumo de criogénicos.
- 1.3. Reemplazo o modernización de equipos de RPE con tecnología obsoleta y/o fuera de servicio en los centros donde se pueda garantizar su uso y mantenimiento adecuado.
- 1.4. En los lugares donde el requerimiento de uso y la capacidad (en recursos económicos y/o humanos) no permita instalar espectrómetros de RMN con imán superconductor, promover la instalación de equipos de imán permanente y mínimo mantenimiento (existen en el mercado equipos de 1,4 y 2,1 Tesla), con las prestaciones básicas (1H/13C, experimentos 2D básicos). Este punto cubriría dos aspectos: por una parte extender el uso de la técnica 'in situ' a lugares más alejados o a pequeños grupos que actualmente están obligados a depender de otros centros (generalmente distantes), lo que lleva a limitar la aplicación de la RMN a una "segunda opción" o para casos especiales, y por otra a capacitar recursos humanos en el uso "habitual" de la técnica. Estos equipos servirían como primer control y luego aquellas muestras específicas que requirieran estudios a campos más altos podrían ser remitidas a los centros donde estos están disponibles.

2. ACCIONES TENDIENTES A MEJORAR LOS SISTEMAS ACTUALES TANTO DESDE EL PUNTO DE LA SENSIBILIDAD COMO DE LAS PRESTACIONES QUE OFRECEN LOS EQUIPAMIENTOS.

- 2.1. Incorporar en los equipos existentes de RMN nuevas prestaciones aún no disponibles o poco difundidas en el país. Específicamente, criosondas de bajo mantenimiento que operan a 77 K (sondas Prodigy) con aumentos considerables en la sensibilidad y criosondas para equipos dedicados a biología estructural.
- 2.2. Incorporar en los equipos existentes de RPE nuevas prestaciones aún no disponibles en el país. Específicamente, accesorios para experimentos de CW ENDOR (resonancia doble electrónica- nuclear) en bandas X y Q con un criostato de helio líquido de circuito cerrado.

3. ACCIONES PARA REFORZAR ÁREAS DE VACANCIA O EN CRECIMIENTO

- 3.1. Incorporar un Analizador de Redes (PNA por Property Network Analyzers) que permite estudiar resonancia ferromagnética en nuevos materiales magnéticos como función de frecuencia de microonda (1 GHz a 50 GHz) y campo magnético (0-2T). Estos equipos permiten medir la resonancia ferromagnética mediante la reflexión y transmisión en guías de transmisión. Están siendo intensamente utilizados para estudiar fenómenos de espintrónica, como Inverse Spin Hall Effect, Resonancia Ferromagnética en films delgados y multicapas sin requerir de cavidades resonantes que trabajan a frecuencia fija. Hay buena experiencia en el país para el uso de estos equipos. Este tipo de generador/analizador de redes posee un costo inferior al 50% de un equipo de EPR convencional (de frecuencia fija) y - si bien no posee la sensibilidad de estos- permite estudiar films ferromagnéticos de pocos nanómetros de espesor.
- 3.2. Incorporar un espectrómetro de RPE pulsado (Pulse ENDOR, ESEEM y 2D-HYSCORE), destinado principalmente a estudios de biología estructural, física de materia condensada, fotoquímica y procesos de relajación.
- 3.3. Incorporar un nuevo espectrómetro de RMN de alto campo (14,1 Tesla) dedicado a estudios de metabolómica, para atender al creciente interés y necesidad de entidades como INTA, empresas de biotecnología y de alimentos.
- 3.4. Instrumentar mecanismos que permitan el acceso de investigadores argentinos a centros de excelencia internacional que cuenten con equipamiento de muy elevado costo (espectrómetros de RMN y RPE con muy altos campos magnéticos, etc) cuya adquisición no pueda planificarse en la actualidad.

4. ACCIONES TENDIENTES A LA EFICIENTIZACIÓN Y FORMACIÓN DE RRHH CAPACITADOS

- 4.1. Promover la incorporación y entrenamiento de personal específico para administración y mantenimiento de los grandes equipos, con remuneración acorde a la responsabilidad. Esta posición es la que

habitualmente se denomina “NMR facility manager” y existe en todos los países centrales (más información en Association of Managers in Magnetic Resonance Laboratories (AMMRL) <http://www.ammrl.org/>). A tales efectos, debería evaluarse la posibilidad de crear una categoría adecuada dentro de alguno de los escalafones disponibles en el sistema científico que permita a dicho personal la remuneración acorde antedicha.

- 4.2. Organizar cursos de operación de espectrómetros en distintos niveles, que permitan desde el acceso directo a los espectrómetros de RMN y RPE de uso rutinario por parte de los usuarios hasta la capacitación avanzada de operadores. Existe suficiente experiencia dentro del Sistema Nacional de Resonancia Magnética para encarar esta tarea.
- 4.3. Organizar cursos avanzados para la capacitación de los usuarios, con especial énfasis en los avances de las técnicas de RMN y RPE y las nuevas prestaciones de los equipos que se incorporen al sistema. Como en el caso anterior, existe suficiente experiencia dentro del Sistema Nacional de Resonancia Magnética para encarar esta tarea.
- 4.4. Promover mediante becas en el exterior (posdoctorales o específicas) la capacitación de investigadores en temas de avanzada poco desarrollados o inexistentes en el país de modo de incorporar los avances en las técnicas de RMN y RPE con un máximo aprovechamiento de las nuevas tecnologías y prestaciones que se incorporen con la implementación del presente plan.

ANEXO II

EQUIPAMIENTO PARA MANTENER EL NIVEL DE PRESTACIÓN ACORDE A LA EVOLUCIÓN DE LA TÉCNICA

A continuación, se definen los equipamientos nuevos y actualizaciones que se requieren para mantener en funcionamiento y reparar los sistemas que existen actualmente en el sistema nacional. Los mismos no contemplan la adquisición de equipos de mayor campo o sistemas para el desarrollo de nuevas aplicaciones/metodologías. **En este sentido, la lista a continuación representa la inversión mínima y urgente que se requiere para mantener el parque de equipamientos existente con un funcionamiento acorde a los requerimientos del sector académico e industrial, y cubrir áreas geográficas de vacancia.**

8 Actualización de equipos obsoletos y/o fuera de funcionamiento

Prioridad	Cantidad	Equipamiento	Destino Propuesto	Comentarios	Monto (USD)
1	6	Reemplazo consolas Avance II por consolas de nueva generación (Neo) con sondas compatibles	UNT, IBR (600MHz) INFIQC, IQUIR (300MHz) UNL UNSL	Reemplazo de consolas obsoletas (ya sin repuestos) o fuera de funcionamiento	3.000.000
1	1	Equipo completo para sólidos (300 MHz)	FAMAF	Reemplazo de equipo obsoleto único en el país (imán de los 90 con Consola Avance II)	600.000
1	3	Equipo 400 MHz solución	INTI (CABA) INQUISUR UNLP	Reemplazo de equipos obsoletos	1.500.000
2	2	Reemplazo de consolas y puentes de microondas	Centro Atómico Bariloche y Santa Fe	Reemplazo de consolas obsoletas y/o puentes de microondas (ya sin repuestos o fuera de funcionamiento)	400.000
2	7	Reemplazo consolas Avance III/Fourier por consolas de nueva generación (Neo) con sondas compatibles	IBR (700MHz) Lab Max Planck IQUIMEFA (300 y 600 MHz) FIL IQUIR (400 MHz) UMYMFOR (300 MHz)	Reemplazo de consolas al borde de la obsolescencia	3.500.000
TOTAL Prioridad 1					5.100.000
TOTAL Prioridad 2					3.900.000
TOTAL					9.000.000

9 Nuevas adquisiciones: Áreas de vacancia geográfica

Prioridad	Cantidad	Equipamiento	Destino Propuesto	Comentarios	Monto (USD)
1	3	Espectrómetro de RMN 1,88 T (¹ H, ¹³ C, 2D)	UNSa U.Patag .S J Bosco UNMDP	Nuevos equipos de bajo campo. Estratégico a nivel regional	750.000
2	4	Espectrómetro de RMN 1,88 T (¹ H, ¹³ C, 2D)	Comahue Catamarca U.N. San Juan UNSE o Corrientes	Nuevos equipos debajo campo. Estratégico a nivel regional	1.000.000
TOTAL Prioridad 1					750.000
TOTAL Prioridad 2					1.000.000
TOTAL					1.750.000

10 Nuevas adquisiciones: Áreas de vacancia de prestaciones

Prioridad	Cantidad	Equipamiento	Destino Propuesto	Comentarios	Monto (USD)
2 En trámite administrativo de compra	1	Accesorios para CW ENDOR en banda X y Q y cavidad de banda Q con guías de onda y criostato de circuito cerrado de He	Santa Fe	Mejoras. Nuevo accesorio. Capacidades no existentes en el país.	350.000
2	1	Criosonda 700 MHz para espectrómetro de RMN	IBR (Rosario)	Mejora de sensibilidad. Nuevo accesorio	600.000
2	5	Sondas Prodigy para equipo de campo medio	RRHH disponibles y disponibilidad de nitrógeno líquido	Mejora de sensibilidad. Nuevos accesorios	1.575.500
2	1	Puente de banda Q para ELEXSYS	Centro Atómico Bariloche	Adquisición complementaria	100.000
TOTAL Prioridad 2					2.625.500
TOTAL					2.625.500

11 Nuevas adquisiciones: Áreas de vacancia de prestaciones

Prioridad	Cantidad	Equipamiento	Destino Propuesto	Comentarios	Monto (USD)
3	1	Espectrómetro de RPE pulsado (Pulse ENDOR, ESEEM y 2D-HYSCORE) para fotoquímica y procesos de relajación tipo ELEXSYS II E-580	Santa Fe	Nuevo equipamiento	900.000
3	1	Espectrómetro de RMN 14,1 T con sondas Prodigy y BBFO	Lugar a definir	Nuevo equipamiento. Metabólica	1.780.000
3	1	Espectrómetro de resonancia ferromagnética de frecuencia variable (0-50 GHz)	Centro Atómico Bariloche	Nuevo equipo basado en analizador de redes	200.000
TOTAL Prioridad 3					2.880.000
TOTAL					2.880.000

12 Resumen por prioridad

PRIORIDAD 1	
ACTUALIZACION DE SISTEMAS OBSOLETOS Y/O FUERA DE FUNCIONAMIENTO	5.100.000
NUEVAS ADQUISICIONES: AREAS DE VACANCIA GEOGRÁFICAS	750.000
TOTAL PRIORIDAD 1	5.850.000
PRIORIDAD 2	
ACTUALIZACION DE SISTEMAS OBSOLETOS	3.900.000
NUEVAS ADQUISICIONES: AREAS DE VACANCIA GEOGRÁFICAS	1.000.000
NUEVAS ADQUISICIONES: AREAS DE VACANCIA DE PRESTACIONES	2.625.500
TOTAL PRIORIDAD 2	7.525.500
PRIORIDAD 3	
NUEVAS ADQUISICIONES- AREAS DE VACANCIA DE PRESTACIONES	2.880.000
TOTAL PRIORIDAD 3	2.880.000
TOTAL	16.255.500