



Ministerio de Ciencia,
Tecnología e Innovación
Argentina



Sistemas Nacionales

PLAN ESTRATÉGICO PARA EL EQUIPAMIENTO BASADO EN LÁSERES, EN LA REPÚBLICA ARGENTINA

PLAN ESTRATÉGICO 2020-2025



Sistemas Nacionales
Láseres

AUTORIDADES

Ministro de Ciencia, Tecnología e Innovación

Daniel Fernando Filmus

Secretario de Articulación Científico-Tecnológica

Juan Pablo Paz

Subsecretaria 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

Silvana Beltrán

Stella Maris Nigro

CONSEJO ASESOR

El Consejo Asesor es el órgano inmediato de representación, discusión y coordinación de las actividades, proyectos y programas del Sistema Nacional de Láseres (SINALA), 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 o expertos en la materia, designados por el MINCYT.

COORDINADORES

- Dr. Miguel Antonio Larotonda, Ministerio de Defensa (MINDEF)
- Lic. Karina Bastida, Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI)

MIEMBRXS

- Dr. Alejandro Fainstein, Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA)
- Dr. Gabriel Bilmes, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)
- Dr. Gustavo Ariel Pino, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)
- Dr. Nicolás Spegazzini, Consejo de Rectores de Universidades Privadas (CRUP)
- Lic. Diego Luna, Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) - Alterno
- Dra. Andrea Bragas, Consejo Interuniversitario Nacional (CIN) - Alterno
- Dr. Pablo Vaveliuk, Consejo Interuniversitario Nacional (CIN) - Titular
- Dr. Claudio Darío Borsarelli, Consejo Interuniversitario Nacional (CIN) - Alterno
- Dr. Julián Antonacci, Consejo Interuniversitario Nacional (CIN) - Titular
- Dr. Maximiliano Alberto Burgos Paci, Consejo Interuniversitario Nacional (CIN) - Titular
- Dr. Manuel José Villafuerte, Consejo Interuniversitario Nacional (CIN) - Titular

TABLA DE CONTENIDO

AUTORIDADES	1
COLABORADORES.....	1
CONSEJO ASESOR	2
1. RELEVANCIA E IMPACTO DE LA FOTÓNICA Y LAS TECNOLOGÍAS DE LA LUZ	5
1.1. Breve reseña de los Programas Nacionales y el SINALA	6
1.2 Plan Estratégico SINALA 2015 y su acción sobre el PME 2015.....	8
1.3 Relevamiento de nuevas oportunidades, áreas de vacancia y aplicaciones potenciales a nivel local	8
1.4 Recursos Humanos	11
2. ACTUALIDAD DEL SISTEMA NACIONAL DE LÁSERES (SINALA) Y PROSPECTIVA	11
2.1. Sistemas Láser para espectroscopía.....	11
2.1.1. Espectroscopías Resueltas en el tiempo - Sistemas láser pulsados	12
2.1.2. Espectroscopías de alta resolución - Sistemas láser continuos	14
2.2. Metrología óptica	16
2.3. Materiales	17
2.3.1. Fabricación y Procesamiento	18
2.3.2. Ensayos no destructivos	20
2.4. Microscopías ópticas con láser	23
2.5. Sistemas de sensado remoto	25
2.6 Equipos de mediano y gran porte no adheridos al SINALA.....	25
2.7 Recomendaciones generales.....	26
3. Concepción de un Plan Estratégico para los sistemas láser en la Argentina	28
4. Plan Estratégico	30
4.1. Reemplazo de equipos en riesgo de obsolescencia. Mejoras y ampliación de capacidades.....	30
4.2. Adquisición de equipos de nueva generación.....	30
4.3. Formación de Recursos Humanos.....	30

4.4. Desarrollo y transferencia de sistemas láser emergentes	31
5. Conclusiones.....	33
Lista de abreviaciones y acrónimos de técnicas experimentales, nombres Institucionales, Programas y Proyectos	34
Anexo – Resumen de sistemas adheridos.....	37

1. RELEVANCIA E IMPACTO DE LA FOTÓNICA Y LAS TECNOLOGÍAS DE LA LUZ

En pocas décadas, la fotónica y las tecnologías de la luz y en particular el láser han impactado de manera decisiva en el desarrollo humano: han revolucionado las comunicaciones, han modificado sustancialmente la manufactura y el procesamiento de materiales, incluidos los propios tejidos humanos y han brindado herramientas que han permitido alcanzar horizontes científicos inexplorados. En las fronteras de estas tecnologías aparece la posibilidad de contar con materiales que podrían producir invisibilidad, computadoras que podrían funcionar totalmente con luz, y celdas fotovoltaicas que podrían permitir que la luz del sol proporcione hasta la mitad de la energía necesaria en el mundo.

Una recorrida por los premios Nobel otorgados en los últimos sesenta años, nos permite tener dimensión de la importancia de la presencia de la fotónica, las tecnologías de la luz y en particular del láser en los desarrollos científicos más disruptivos de la humanidad tanto a nivel básico como tecnológico. Desde aquel premio Nobel en física de 1964, que fue otorgado a Basov, Prokhorov y Townes, por sus contribuciones al desarrollo del máser y del láser, hasta el último en 2018 que recibieron Arthur Ashkin, Gerard Mourou y Donna Strickland por "sus inventos innovadores en el campo de la física láser". En efecto, Ashkin fue premiado por las pinzas ópticas y sus aplicaciones en biología y Mourou y Strickland por el desarrollo de métodos para generar pulsos ultracortos de alta intensidad. Entre estos dos hitos, la lista de premios Nobel relacionados a las tecnologías de la luz es muy extensa, por lo que cabe destacar sólo algunos de los más recientes. En 2012, Haroche y Wineland comparten el premio Nobel en Física por sus trabajos acerca de la observación y manipulación de átomos individuales preservando su naturaleza cuántica, utilizando métodos de óptica cuántica. Sus resultados tienen gran impacto en el área de computación cuántica y metrología. En 2009 Kao obtuvo el premio Nobel de Física por sus logros en relación con la transmisión de la luz en fibras ópticas, que se ha convertido en la columna vertebral de las comunicaciones de alta capacidad. En 2005 lo obtuvieron Glauber, por su contribución a la teoría cuántica de la coherencia óptica y Hall y Hänsch, por el desarrollo de la espectroscopía de precisión basada en la técnica láser del peine de frecuencias ópticas. En 2014 fue otorgado a los japoneses Isamu Akasaki, Hiroshi Amano y Shuji Nakamura por haber inventado una nueva fuente de luz energéticamente eficiente y respetuosa del ambiente –el LED azul– que revolucionó la forma de iluminación en nuestra vida cotidiana. A este premio se sumó el mismo año el Nobel de química, otorgado por el desarrollo de la microscopía fluorescente de alta resolución a Stefan Hell, Eric Betzig, y William Moerner.

No hay duda que las grandes contribuciones que ampliaron las posibilidades de las comunicaciones están relacionadas con los láseres de diodos semiconductores que operan a temperatura ambiente (Alferov, 1970; premio Nobel de Física en 2000), los desarrollos de las fibras ópticas para la transmisión de información en la década de 1980 y con la introducción del amplificador de fibra dopada con erbio, en la década de 1990. Estas invenciones forman la base de la revolución de las telecomunicaciones de finales del siglo XX y proporcionaron la infraestructura para Internet o la "nube".

Las Tecnologías de la Luz o Fotónica han tenido mucho que ver con todo esto, pero todavía deben enfrentar otro reto: disminuir el consumo energético de los sistemas de comunicaciones e informática o TICs. Hoy día, cuando, en países desarrollados, la iluminación ocupa aproximadamente el 20 % del consumo de energía eléctrica hogareña las TICs ya alcanzan el 10 % y su participación crece exponencialmente. Con una tasa de crecimiento aún mayor, Japón debería dedicar toda su capacidad de generación al consumo originado en las TICs, antes de 2030. El reemplazo de sistemas electrónicos por dispositivos totalmente ópticos o al menos híbridos, promete ser un camino posible a corto plazo para superar este escollo. Acompañada de la nanotecnología y la fabricación de nuevos materiales como los atómicamente planos con propiedades cuánticas, la fotónica promete empujar las fronteras del conocimiento y ser un jugador importante en el manejo eficiente de la energía en las comunicaciones del futuro y los dispositivos de procesamiento de datos.

La humanidad ha estudiado la luz por más de dos mil años, pero no es hasta la irrupción del láser en 1960, que nace la fotónica, el área de la ciencia y la tecnología asociada con la generación y manipulación de la luz. La fotónica cubre todas las aplicaciones técnicas del espectro electromagnético desde los rayos X hasta las microondas, pasando por el ultravioleta, el visible, el infrarrojo cercano, medio y lejano y la que se reconoce como la próxima frontera de las comunicaciones inalámbricas: la banda de terahertz, entre 0.1 y 10 THz.

La luz juega un papel vital en nuestra vida cotidiana y la fotónica y las tecnologías de la luz atraviesan transversalmente todas las disciplinas y son un campo para permanentes innovaciones y el desarrollo de nuevos inventos. Brindan la posibilidad de contribuir a proporcionar valor agregado a la industria y la producción, generar fuentes de trabajo calificado para ingenieros, físicos y técnicos y desarrollar proyectos estratégicos.

Las Naciones Unidas han reconocido, al proclamar a 2015 como el Año Internacional de la Luz y las tecnologías basadas en la luz, la importancia de aumentar la conciencia mundial sobre cómo las tecnologías basadas en la luz promueven el desarrollo sostenible y dan soluciones a los desafíos globales en materia de energía, educación, producción y salud. Más aún, a partir del año 2016, han instaurado el 16 de mayo como el Día Internacional de la Luz, recordando que, ese día, en 1960 Theodore Maiman hizo funcionar por primera vez un láser fabricado por un ser humano.

El sistema científico argentino tuvo un rol protagónico durante la irrupción de la pandemia en el 2020 y sus consecuencias posteriores. La capacidad de respuesta del sistema se puso a prueba ante la necesidad de validación de vacunas, desarrollo de test rápidos de diagnóstico, insumos urgentes, estudios de efectividad de vacunas y el desarrollo mismo de vacunas nacionales, así como, en conjunto con el sector productivo, el desarrollo de mascarillas y otros elementos de protección como cabinas de toma de muestras, respiradores, sistemas UV para esterilización y validación de sistemas para toma de temperatura, sólo por citar unos pocos ejemplos.

Esta crisis sanitaria dejó claro que el sector privado es incapaz de dar una respuesta por sí solo, y es crítico el aporte del estado en el soporte, desarrollo y mantenimiento de capacidades tecnológicas. Es fundamental entonces para éste y todos los sistemas trabajar en la coordinación y generación de interconexiones con el resto del sector público y con los actores del sector productivo y del desarrollo social, con el objetivo de poder responder en forma ágil y eficaz a nuevas demandas de conocimiento y tecnológica, con criterios de calidad, federalización, vinculación y transferencia.

1.1. BREVE RESEÑA DE LOS PROGRAMAS NACIONALES Y EL SINALA

El Plan Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación “Argentina Innovadora 2020” estableció los lineamientos de los últimos 10 años en materia de ciencia, tecnología e innovación. El plan definía seis sectores estratégicos: Agroindustria, Ambiente, Desarrollo Social, Energía, Industria y Salud. A continuación se se presenta un breve balance de los desarrollos actuales en fotónica y tecnologías de la luz vinculados con estas seis áreas asociados con el SINALA.

AGROINDUSTRIA.

- Maquinaria agrícola. Actualmente se estudian nuevas tecnologías ópticas para el mejoramiento del desempeño de estos equipos, fomentar la agricultura de precisión y mejorar el manejo y monitoreo de fertilizantes y plaguicidas.

- Producción y procesamiento de recursos oceánicos. La Comisión Nacional de Actividades Espaciales está encarando el proyecto SABIA-Mar para estudiar el litoral marítimo con sensores de clorofila de nueva generación.
- Semillas. Desde hace tiempo se utilizan en el país métodos ópticos para la caracterización de semillas mediante la técnica de speckle dinámico.

AMBIENTE.

- Datos ambientales. Los Sistemas LIDAR y la espectroscopia con drones permiten obtener información remota de ozono, dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, aerosoles, etc.
- Sistemas como PLP-LIF, “*cavity ringdown*” y “FAGE-LIF” permiten obtener información cinética respecto a las velocidades de reacciones entre radicales atmosféricos y compuestos contaminantes.

ENERGÍA.

- Tecnologías para petróleo y gas. Los métodos ópticos permiten estudiar el comportamiento del agua en los procesos de recuperación secundaria y en general en las técnicas de recuperación mejorada de hidrocarburos (EOR).
- Los sensores ópticos construidos a partir de fibras ópticas permiten el monitoreo de temperatura distribuida en pozos de petróleo convencional y no convencional o en estructuras mecánicas complejas, como son los generadores eólicos.
- Energía Solar. Es necesario colaborar en el diseño y caracterización de los elementos ópticos reflectores y concentradores, como así también desarrollo y puesta a punto de técnicas láser para caracterización de nuevos materiales. Se debe ampliar la base metrológica para realizar todo tipo de calibraciones en material radiométrico.
- Tecnologías para el Litio. Los métodos láser permiten la separación isotópica Li6-Li7 relevante para reactores de fisión y fusión, y para sensores centelladores.

INDUSTRIA.

- Autopartes. Se ha planteado como crucial contar con nuevos sistemas de corte y soldadura 3D y micro-nano estructuración superficial 3D que combinarán el manejo robotizado de láseres de fibra óptica o de semiconductor.
- Otras industrias. Se ha propuesto el desarrollo de sistemas ópticos para control de calidad de productos y procesos y ensayos no destructivos de materiales, ejemplos: OCT, técnicas fototérmicas. Sensores ópticos para monitoreo en planta.

SALUD.

- Las nuevas microscopías de super resolución ya se están utilizando en el país en investigaciones biomédicas y particularmente en los desarrollos de vacunas y sistemas de detección y análisis de virus y bacterias. Si bien la capacidad instalada es importante, se prevé en el futuro próximo una fuerte demanda de estos sistemas .
- Al igual que en el caso de las semillas, la técnica de speckle dinámico se puede utilizar para estudiar virus y bacterias.
- Los láseres de excímeros son ampliamente usados en cirugía fotorrefractiva.
- Los láseres de femtosegundos se emplean cada vez más en cirugía de cataratas.
- Es necesario ampliar la base metrológica para realizar las necesarias calibraciones de los equipos usados en medicina.
- La modificación superficial de biomateriales mediante el uso de láseres se utiliza para mejorar el crecimiento óseo en prótesis (crecimiento celular dirigido), disminuir la adhesión de biofilms (bactericida) y mejorar la adhesión de materiales de restauración en lesiones odontológicas, entre otras.
- La separación isotópica por métodos láser es relevante para una gran diversidad de isótopos importantes tanto para imágenes como para tratamientos médicos y en la fabricación de semiconductores de alto rendimiento entre otras aplicaciones.

1.2 PLAN ESTRATÉGICO SINALA 2015 Y SU ACCIÓN SOBRE EL PME 2015

En el año 2015 el MINCyT realizó la convocatoria a Proyectos para Modernización de Equipamiento de Unidades Ejecutoras (PME 2015) con la colaboración del Programa de Grandes Instrumentos y Bases de Datos. En este proceso se financió la creación del Laboratorio de Iones y Átomos Fríos (LIAF, FCEyN-UBA), que se constituye en una facilidad para la manipulación coherente de iones y átomos fríos usando varios tipos de láseres estabilizados en frecuencia. De esta forma se comenzó a cubrir una de las áreas de vacancia identificadas en la edición anterior de este Plan Estratégico. Después de algunas demoras en la ejecución de los fondos, el equipamiento de dicho laboratorio se encuentra operativo y adherido al SINALA (ver sección 2.1.2).

La posibilidad de manipular coherentemente átomos o iones ultra fríos no es solamente de interés fundamental para la computación cuántica; también proporciona herramientas netamente tecnológicas que permitirán en el futuro, definir y mejorar patrones de medición de tiempos y frecuencias, así como desarrollar tecnologías de detección de alta sensibilidad para mediciones gravimétricas. Notablemente, si bien ésta es una de las áreas más activas de la física en la actualidad (con dos premios Nobel otorgados en el área), se encuentra esencialmente vacante en nuestro país. Para cubrir esta área de vacancia de la física experimental en la Argentina, además de contar con el equipamiento específico es preciso encarar otros frentes de trabajo, como son: estimular la actividad en el área de átomos fríos y manipulación coherente de la materia, fomentando la colaboración entre grupos interesados en esta temática en nuestro país y en el exterior; proveer a la formación de recursos humanos en el área, tanto en sus aspectos teóricos como experimentales e incorporar investigadores jóvenes con experiencia en la física experimental de átomos fríos, ya sea procedentes de nuestro país o extranjeros. Varias de estas actividades pueden ser fomentadas desde el SINALA.

1.3 RELEVAMIENTO DE NUEVAS OPORTUNIDADES, ÁREAS DE VACANCIA Y APLICACIONES POTENCIALES A NIVEL LOCAL

Son numerosos los campos en los que la óptica y la fotónica, como disciplinas transversales, están directa o indirectamente comprendidas. En el Documento Preliminar del Plan Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación 2030, el MINCyT junto con el resto de los actores del sistema de CyT proponen ocho objetivos generales: *Construir una visión de proyecto nacional de desarrollo, Alcanzar un desarrollo territorial equilibrado, transformar los procesos tecnológicos hacia sistemas, con grados crecientes de autonomía, fortalecer el desarrollo de las actividades productivas que se desempeñan en la economía informal de forma de garantizar los ingresos de trabajadoras y trabajadores desprotegidos, diseñar e implementar una política de desarrollo productivo que priorice el incremento de las exportaciones y la sustitución de importaciones agregando valor a los recursos naturales, promover la incorporación incremental de las tecnologías 4.0 al desarrollo productivo y finalmente fortalecer un tejido productivo nacional competitivo sostenido en la planificación regional y sectorial, de transporte y logística, y de infraestructura.*

En este sentido entendemos que nuestro rol es transversal, y que la estrategia de los Sistemas Nacionales debe estar enfocada en aportar a la transformación productiva deseada en base al conocimiento y la innovación, buscando identificar y seleccionar conocimientos y tecnologías con capacidad de impactar fuertemente en los sectores económicos y sociales, subsectores o eslabones de cadenas de valor. Para el diagnóstico tendremos en cuenta los objetivos del plan anterior, y además incorporaremos a la agenda la biotecnología, los materiales avanzados, la nanotecnología, la microelectrónica, o las tecnologías de la información y las comunicaciones en los distintos campos de aplicación.

Durante la última década algunas tecnologías y métodos han mostrado ser de gran utilidad y se consideran estratégicas para una modernización genuina del Estado. Dentro de este grupo, dos áreas en las que se considera que las tecnologías fotónicas y de uso de láser pueden contribuir de manera relevante al desarrollo de capacidades nacionales son las telecomunicaciones (comunicaciones ópticas de alta capacidad) y en la denominada Industria 4.0:

COMUNICACIONES.

- El desarrollo de componentes integrados a fibra, controladores de pulsos y sistemas láser en el rango de las longitudes de onda de telecomunicaciones da acceso a nuevos esquemas de comunicaciones y protocolos
- El *know-how* y dominio de tecnologías de detección de flujos ultra-bajos de intensidad de luz permite la incorporación de protocolos de comunicación sofisticados como los de criptografía cuántica, que a nivel mundial están cada vez más cerca de ser incorporados a sistemas comerciales.

INDUSTRIA 4.0.

La industria y las cadenas de suministro están cada vez más interconectadas a través de tecnologías informáticas y de redes avanzadas que permiten productos y capacidades de producción en tiempos más cortos y con generación de productos de mayor calidad. El término industria 4.0 incluye las comunicaciones cuánticas, fibra óptica, Internet de las cosas (IoT), comunicaciones 5G, fabricación aditiva y otras herramientas impulsadas digitalmente. En este aspecto la fotónica juega un papel clave en cada una de estas áreas,

- Fabricación aditiva o fabricación inteligente / impresiones 3 D: Por proceso de fabricación aplicando técnicas por fusión selectiva mediante láser (SLM) y/o por deposición directa mediante láser (LMD) o por estructuración directa por interferencia láser (DLIP). Así como herramienta

metroológica que permita inspeccionar la pieza, calibrar el sistema de producción y corregir en línea.

- Ciberseguridad: Distribución de claves cuánticas (QKD), metrología de pocos fotones (ver siguiente subsección).
- Internet de las cosas, Fibra óptica: necesidad de Integración de múltiples plataformas fotónicas que permitirán integrar láseres, detectores y moduladores electro-ópticos con la electrónica CMOS.
- Robótica y automatización: Calibración y verificación de máquinas herramientas mediante tecnologías *laser tracker* y *laser trace*. Testeo en tiempo real y en forma dinámica. Escaneo 3D: fotogrametría, técnicas de luz estructurada, triangulación entre otras.

SENSORÍSTICA FOTÓNICA. ÓPTICA INTEGRADA

Desde hace unos años, los dispositivos y circuitos ópticos se están convirtiendo en componentes fundamentales en varios campos de aplicación como medicina, biotecnología, industria automotriz y aeroespacial, control de calidad de alimentos, química entre otros. Si bien existe una gran variedad de tecnologías y enfoques en el campo, los dos grupos más importantes son los sensores integrados en chips compatibles con tecnologías CMOS, y los sensores plasmónicos. Es una plataforma tecnológica que se encuentra en máxima expansión, impactando fuertemente en los sistemas de comunicaciones ópticas, siendo clave en el diseño y desarrollo de distintos componentes para este sector. Utiliza láseres de pulsos ultracortos para el micro-mecanizado por ablación superficial y el grabado de estructuras fotónicas en el interior de materiales ópticos y obleas basadas en silicio (SOI, SiN, SiON) con posibilidad de generar diseños en 3D y dispositivos integrados a gran escala. Por ejemplo, moduladores de fase-amplitud, divisores de señales tridimensionales, láseres, amplificadores, anillos resonantes (filtros), Interferómetros MZ, acopladores direccionales. Estas tecnologías se han visto potenciadas con el desarrollo de láseres de femtosegundos basados en fibras ópticas principalmente dopadas con iones Yb^{3+} . Estos tienen la ventaja de ser compactos, pueden trabajar a las altas tasas de repetición permitiendo desplazamientos de cm/s en los sistemas posicionamiento y son económicamente más accesibles

Por otra parte, el campo de investigación de las interacciones entre la luz y metales llamado plasmónica ha crecido en forma notable, principalmente debido a sus aplicaciones potenciales en dispositivos miniaturizados para sensado y diagnóstico. A la par del crecimiento del volumen de investigación de estas técnicas, el control de estos componentes nanoestructurados que se obtenga, podrá brindar sensibilidad incrementada, facilidad de fabricación y por ende utilidad para el uso fuera del laboratorio. Argentina puede aportar en este campo, desarrollando sensores para todo tipo de industrias y atendiendo a necesidades locales, desde la detección de emisión de gases hasta sensores moleculares en el área biomédica o de stress hídrico en el agro, sensores basados en fibra óptica para la industria petrolera, o monitores de movimiento de embarcaciones en costas y plataformas en mar abierto.

TECNOLOGÍAS CUÁNTICAS

Asimismo, a nivel global ha aparecido un conjunto de tecnologías emergentes, agrupadas bajo el rótulo de "Tecnologías Cuánticas". La capacidad de control y manipulación de estados de la materia que están más allá de la capacidad de un sistema clásico, permite acceder a realizar tareas o bien novedosas e impracticables clásicamente, o bien de forma mucho más eficiente. El dominio de estos estados frágiles por naturaleza se anticipa desde la década del 60, pero recién en los últimos cinco años su desarrollo adquirió una dinámica vertiginosa, fundamentalmente por la inyección de enormes cantidades de recursos por parte de los gobiernos de la Comunidad Europea, los Estados Unidos de América y de la

República Popular China. El desarrollo de estas tecnologías promete avances disruptivos en áreas tales como las comunicaciones cuánticas, la metrología cuántica, las fuentes de luz con emisión de fotones únicos basadas en puntos cuánticos en microcavidades, aplicaciones de efectos cuánticos en óptica de metales por debajo de la longitud de onda, optomecánica con partículas levitadas, estados ligados en el continuo (BIC), por citar algunos. Existen en desarrollo en la actualidad diversas iniciativas locales, tendientes a agrupar esfuerzos inter-institucionales para el desarrollo de tecnologías cuánticas en áreas como comunicaciones, metrología, desarrollo de nuevos materiales y procesamiento de la información.

1.4 RECURSOS HUMANOS

Desde el SINALA y como consecuencia de la realización de cursos de formación de recursos humanos especializados sobre láseres y técnicas espectroscópicas, se ha identificado que una demanda común a muchos centros de I+D adheridos al Sistema, es la de la capacitación en temas de ingeniería de láseres, ya sea para asegurar un mantenimiento básico de sistemas existentes o incluso para desarrollar las propias herramientas de experimentación, medición y testeo basadas en estos dispositivos: históricamente en la Argentina, los grupos especializados en láseres se dedicaron al desarrollo de éstos entre mediados de la década del '70 y principios de la década del '90. Posteriormente, la disponibilidad y costos de estos sistemas en el mercado hizo que muchos de estos grupos se volcaran al uso de los láseres como herramientas, en aplicaciones diversas (microscopías, técnicas espectroscópicas, tratamiento de superficies, metrología, estudio de procesos no lineales, etc). Esto sumado a la falta de una política nacional de valorización de mano de obra altamente calificada, hizo que la experticia en temas de construcción y mantenimiento de láseres se fuera perdiendo, con lo que la dependencia de los usuarios locales de láseres con los proveedores es muy alta. Se ve entonces como una oportunidad la posibilidad de generar una “escuela” de desarrollo de sistemas láser en la Argentina:

GENERACIÓN DE CONOCIMIENTOS APLICADOS Y POSIBILIDAD DE DESARROLLOS PROPIOS EN SISTEMAS LÁSER:

A través de un programa de escuelas, talleres y actividades “*hands-on*” se propone capacitar RRHH para que sean capaces de mantener (y eventualmente desarrollar, partiendo de sub-sistemas OEM) sus propios equipos de laboratorio basados en sistemas láser. Para ello se deberá insistir con las entidades financiadoras la utilidad de permitir la flexibilización de tipos de gastos permitidos por el instrumento “Formación de Recursos Humanos”, debido a que de esta forma se podrían realizar cursos y capacitaciones que incluyan prácticas experimentales.

2. ACTUALIDAD DEL SISTEMA NACIONAL DE LÁSERES (SINALA) Y PROSPECTIVA

Como se ha expuesto, los extraordinarios avances que han logrado los sistemas láser en los últimos años son claves para resolver los desafíos científico-tecnológicos en las más variadas disciplinas y las demandas productivas de la sociedad. Para poder ofrecer un diagnóstico de la situación actual del área de Tecnologías de la Luz, Fotónica y Láser en el país, hemos dividido este documento en 4 áreas de aplicación, que evaluamos como representativas del mapa actual. Sin embargo, también analizaremos en cada caso las tecnologías vacantes y plausibles de desarrollarse en el corto y mediano plazo, y de aquellas que consideramos clave para el buen desarrollo del área en el país.

En el Anexo 1 de este documento se resume la distribución y cantidad de Centros y Equipos adheridos al SINALA hasta mayo de 2022. Además, en el sitio web de los Sistemas Nacionales se puede acceder a la información particular de cada equipo con el motor de búsqueda de equipos y facilidades adheridos.

2.1. SISTEMAS LÁSER PARA ESPECTROSCOPÍA

Guiados por la “definición” de un sistema láser acordada por el Consejo Asesor, estos sistemas se clasifican por su área de aplicación. En la presente sección se detallan los sistemas dedicados a obtener información espectroscópica de materiales.

2.1.1. ESPECTROSCOPIAS RESUELTAS EN EL TIEMPO - SISTEMAS LÁSER PULSADOS

La disponibilidad de láseres pulsados, con emisión de pulsos con duración típicamente desde nanosegundos hasta algunos attosegundos (10^{-18} s) ha permitido el acceso a pulsos láser ultra-intensos, así como a estudios resueltos en tiempo de problemas dinámicos en escalas temporales ultra-cortas. Al concentrar la energía de los pulsos en tiempos muy cortos se consiguen **pulsos ultra-intensos**, con potencias típicamente en decenas de gigawatts o incluso terawatts en sistemas específicos. Esto ha permitido el acceso al estudio de una gran diversidad de fenómenos no-lineales, y fuera de equilibrio.

La disponibilidad de láseres pulsados, con emisión de pulsos con duración típicamente desde nanosegundos hasta algunos attosegundos (10^{-18} s) ha permitido el acceso a pulsos láser ultra-intensos, así como a estudios resueltos en tiempo de problemas dinámicos en escalas temporales ultra-cortas. Al concentrar la energía de los pulsos en tiempos muy cortos se consiguen **pulsos ultra-intensos**, con potencias típicamente en decenas de gigawatts o incluso terawatts en sistemas específicos. Esto ha permitido el acceso al estudio de una gran diversidad de fenómenos no-lineales, y fuera de equilibrio.

Las **técnicas resueltas en el tiempo**, por su lado, involucran el estudio de procesos dinámicos en materiales sólidos, compuestos químicos, moléculas o átomos individuales, que transcurren en tiempos ultracortos. Es posible estudiar procesos ópticos o fotoinducidos que ocurren en escalas de tiempo desde unos cuantos attosegundos a milisegundos. La radiación de excitación puede cubrir una enorme gama espectral, con longitudes de onda que van en sistemas de laboratorio típicamente desde los 20 nm (Rayos X - UV extremo) hasta 20 μ m (infrarrojo lejano) o incluso el rango de los THz (longitud de onda 20-200 μ m). Mediante la fotoemisión inducida por láseres ultracortos también es posible llevar a cabo estudios de microscopía electrónica de transmisión con resolución de femtosegundos. La implementación de estas técnicas involucra la utilización y desarrollo de láseres de distintas tecnologías (de estado sólido, de colorante, de fibra, etc.), distintas formas de manipulación y caracterización de los pulsos, además de su detección ultrarrápida y eficiente. Esto se suma a los montajes específicos asociados a técnicas mixtas, por ejemplo las que involucran a rayos X, electrones o iones.

Una gran diversidad de aplicaciones requiere de **pulsos láser ultra-intensos**, entre las que se pueden mencionar las técnicas de mezcla de cuatro ondas (*four wave-mixing*) y de eco de fotones (*photon-echo*) en el estudio de fenómenos ópticos no-lineales y para el estudio de dinámicas ultrarrápidas, la generación de ondas acústicas de choque, por ejemplo para la simulación en laboratorio de efectos explosivos, el estudio de la dinámica de transiciones de fase fotoinducidas, la generación y estudio de fenómenos ondulatorios no lineales y extremos, como solitones y *rogue waves*, la generación de rayos X y de radiación THz, la aceleración de partículas, incluyendo aplicaciones en terapia de hadrones, la fusión termonuclear y el estudio de interacción radiación-materia en límites relativistas y de ultra-alta intensidad.

Por otro lado, las **espectroscopias resueltas en el tiempo** incluyen una familia diversa de técnicas con interés en la investigación fundamental en áreas de la física, la química, la biología, y en aplicaciones tales como medidas de control en la industria de los semiconductores, caracterización de materiales, análisis biológico y químico, fechado arqueológico, etc. Típicamente comprenden esquemas tipo bombeo-sonda (pump-probe), en donde un primer pulso láser genera una perturbación que saca al sistema de equilibrio, y luego de un cierto tiempo de retardo t otro pulso láser o incluso un pulso de electrones emitidos o de rayos X, por ejemplo, sondan al sistema. Estas técnicas incluyen las espectroscopias de absorción, de

emisión, de fonones coherentes, de ionización multifotónica resonante y de fluorescencia inducida por láser. Por último se mencionan técnicas asistidas por láser como la dispersión de rayos-X o la transmisión electrónica (TEM) resuelta en tiempo.

ESTADO ACTUAL DE LOS EQUIPOS ADHERIDOS AL SINALA

Entre los Centros con sistemas láseres adheridos al SINALA que involucran la excitación con pulsos cortos y ultracortos y espectroscopías ultrarrápidas pueden citarse el LEC (FCEyN-UBA), el LFO (CAB- CNEA), el CIOP (CONICET-CIC-UNLP) de La Plata, el INQUIMAE (FCEyN-UBA) y el Laboratorio de Fotónica (FI-UBA); las aplicaciones posibles de estos sistemas abarcan desde las espectroscopías en el dominio de tiempo de nano y femtosegundos, la generación y detección de pulsos de THz, fotolitografía óptica, microscopías de barrido y experimentos de tipo *pump-probe* en materiales nanoestructurados.

Sistemas basados en láseres Q-Switch con pulsos de nanosegundos y picosegundos, abiertos a la comunidad en la red SINALA se encuentran disponibles en el Laboratorio Láser del INFIQC (CONICET – UNC), el Departamento de Química (FCEFNU-UNRC), el INIFTA (CONICET-UNLP), el Laboratorio de Cinética y Fotoquímica del CITSE (CONICET-UNSE). Estos equipos están fundamentalmente dedicados a experimentos de flash fotólisis, fotodisociación, espectroscopías de fluorescencia en fase gaseosa, líquida y condensada e ionización multifotónica en fase gaseosa, todos ellos en modo estacionario o resuelto en el tiempo y en modalidad *pump-probe* con dos o más pulsos láser.

MEJORAS Y AMPLIACIÓN DE FACILIDADES EXISTENTES PARA PROVEER NUEVAS HERRAMIENTAS

Los sistemas láser son más versátiles y de más fácil acceso cuanto mayor sea la variedad de equipamientos de procesamiento y de detección asociados, y cuánto más estandarizada esté su utilización. Cómo en una gran facilidad tipo Reactor Nuclear, o Sincrotrón, la fuente es importante, pero no lo es menos la instrumentación de todas las posibles líneas de haces. Teniendo en cuenta las fuentes láser existentes en el país, sería interesante incorporar técnicas hoy muy limitadas o vacantes en el país, incluyendo:

1. Sistemas OPO/OPA sintonizables en intervalos espectrales amplios (200 nm - 20 μ m) con pulsos de picosegundos y femtosegundos, para realizar experimentos *pump-probe* de dos y tres colores y espectroscopía de uno, dos y/o tres colores, incluyendo técnicas tales como espectroscopía de absorción transitoria en el rango de femtosegundos, fluorescencia por conversión ascendente, espectroscopía de *cavity ring-down*, espectroscopía de IR resuelta en el tiempo, etc.
2. Espectroscopía vibracional por generación de suma de frecuencias (VS-SFG) para la exploración de interfaces.
3. Técnicas para experimentos de espectroscopía de fotoemisión resuelta en tiempo, hasta el intervalo de fracciones de ps con *streak-cameras* o técnicas alternativas.
4. Técnicas interferométricas de detección de fenómenos ópticos ultrarrápidos.
5. Facilidades polarimétricas y de magneto-óptica.
6. Desarrollo en el área de microscopías laser multifotónicas de última generación.

7. Espectroscopías de radiación THz resueltas en tiempo.

EQUIPOS DE NUEVA GENERACIÓN, TÉCNICAS EMERGENTES.

En los últimos años han surgido nuevas generaciones de equipos, o de técnicas asociadas, que podrían ser relevantes para el desarrollo científico-tecnológico del país, y que no están disponibles para su comunidad, tales como:

- Transmisión electrónica resuelta en tiempo
- Dispersión de rayos X resuelta en tiempo
- Facilidad de attosegundos, con aplicaciones en física atómica y control coherente
- Tecnologías de láseres asincrónicos (ASOPS) para experimentos pump-probe sin líneas de retardo y para la generación de pulsos THz.
- Nuevos LIDAR con láseres de fibra óptica.
- Facilidad de ultra-alta potencia (petawatts)
- Facilidad de Láser de Electrones Libres(FEL) sintonizable.

Las últimas dos facilidades corresponden a instalaciones de gran envergadura que podrían funcionar con formato de "Laboratorio Nacional", con disponibilidad para usuarios externos del 80% de su tiempo.

La facilidad de petawatts abriría los caminos en al menos dos áreas de investigación de actualidad: generación de pulsos de attosegundos y la aceleración de partículas, incluyendo aplicaciones en terapia de hadrones y un nuevo medio para estudiar la estructura del vacío.

2.1.2. ESPECTROSCOPIAS DE ALTA RESOLUCIÓN - SISTEMAS LÁSER CONTINUOS

Desde la demostración del primer láser de Ruby en 1960 ha sido posible contar con fuentes de luz coherentes, monocromáticas e intensas que permiten una gran diversidad de aplicaciones y de técnicas espectroscópicas de muy alta resolución.

Estos sistemas abarcan una diversidad de láseres, incluyendo láseres gaseosos, láseres de colorante, de estado sólido, como el Nd-YAG y el láser de Titanio-Zafiro, láser de diodo, láseres de fibra y láseres de cascada cuántica (QCLs). Sus aplicaciones cubren prácticamente todas las actividades humanas, en la industria, seguridad y defensa, medio ambiente para la detección de contaminantes, salud, comunicaciones, etc. Los desarrollos hacia láseres más potentes, más eficientes, más pequeños (sub-micrón) o emitiendo en regiones espectrales vacantes, constituyen temas de actividad científica y tecnológica de gran actualidad. Son utilizados además en una diversidad de técnicas de laboratorio, en particular en una variedad de espectroscopías, por ejemplo en espectroscopía Raman, de fotoluminiscencia, de absorción, de fotoemisión resonante, en microscopías confocales y de super-resolución, y en experimentos de control preciso de estados atómicos y moleculares, por ejemplo en el enfriamiento de átomos, en información y memorias cuánticas, o en la separación isotópica por excitación láser con aplicaciones en temas de radioquímicos para la salud, en la industria nuclear y de semiconductores.

ESTADO ACTUAL DE LOS EQUIPOS

Entre los Centros con sistemas láseres continuos pueden citarse los de espectroscopía Raman del IFIBA (UBA), del CEQUINOR (CONICET – UNLP) y del INFIQC (CONICET – UNC). Además, se destaca el sistema de espectroscopía de ultra alta resolución basado en láseres de anillo de Titanio Zafiro y de colorante del LFO (CAB-CNEA). Una de las adhesiones más importantes al SINALA es la de los sistemas láser de espectroscopía de alta resolución para manipulación de iones fríos del LIAF (DF- FCEyN-UBA), que fue adquirido con fondos de la edición 2015 del Programa de Modernización de Equipamiento del MINCyT.

MEJORAS Y AMPLIACIÓN DE FACILIDADES EXISTENTES PARA PROVEER NUEVAS HERRAMIENTAS

Los sistemas láser son más versátiles y de más fácil acceso cuanto mayor sea la variedad de equipamientos de procesamiento y de detección asociados, y cuánto más estandarizada esté su utilización. Teniendo en cuenta las fuentes láser existentes en el país, sería interesante incorporar técnicas hoy muy limitadas o vacantes en el país, incluyendo:

- Acceso a intervalos espectrales más amplios.
- Estabilización para acceso a líneas super-angostas (sub kHz), y acceso o equipamiento interferométrico para caracterización fina de la emisión.
- Utilización de láseres de diodo para el desarrollo de sensores (bio)analíticos.
- Implementación de láseres para el desarrollo de técnicas de imágenes moleculares.

EQUIPOS DE NUEVA GENERACIÓN, TÉCNICAS EMERGENTES

En los últimos años han surgido nuevas generaciones de equipos, o de técnicas asociadas, que son relevantes para el desarrollo científico-tecnológico del país, y que no están disponibles para su comunidad, incluyendo:

- Láseres de Cascada Cuántica (QCLs) como fuente de emisión en el intervalo comprendido entre 5 y 100 micrones. Existen proyectos para iniciar su estudio y eventual desarrollo a nivel nacional, con facilidades de crecimiento de materiales semiconductores por epitaxia de haces moleculares, y su posterior nano y microestructuración. Sería importante vislumbrar esta área como un nicho de oportunidades a nivel regional, y desde el SINALA estimular la formación de RRHH en el área, y el desarrollo a demanda y uso de QCLs.
- Láseres de Rayos X-UV extremo. Es posible desarrollar láseres a nivel laboratorio (table-top) para este intervalo de alta energía. Este tipo de láseres emiten en el intervalo de longitudes de onda comprendido entre los 12 nm y los 60 nm y permiten tener un haz coherente de luz en el UV extremo. Este tipo de láseres tienen aplicaciones científicas tales como la espectrometría de masa por ionización monofotónica con aplicación a la proteómica, LIBS de alta resolución, litografía con resolución nanométrica, y microscopía de alta resolución.

2.2. METROLOGÍA ÓPTICA

La metrología, la ciencia de las mediciones, ocupa un lugar central en la infraestructura de nuestra sociedad. Muchas veces sin que el propio usuario tenga conciencia de ello, la capacidad de medir condiciona la equidad en el comercio, el cuidado de la salud, la preservación del ambiente, la calidad de la producción industrial, la capacidad de innovación tecnológica y las posibilidades de investigación científica.

La evolución de la ciencia y la tecnología, la necesidad de fortalecer la innovación en nuestro aparato productivo, los desafíos ambientales y las nuevas herramientas de diagnóstico en salud, demandan hoy un impulso cualitativo y cuantitativo a nuestra metrología en general y en particular en la metrología óptica.

Por lo que es importante fortalecer la base de metrología óptica en el país, de modo que permita sostener otras actividades vinculadas con la investigación científica, el desarrollo tecnológico y la innovación productiva. Asegurar y mejorar la calidad de los productos industriales manufacturados en el país, y garantizar un mayor poder de control por parte del Estado.

El Láser, la Fotónica y las Tecnologías de la luz tiene una relación doble con la Metrología; por un lado brindan parte de las herramientas necesarias para definir patrones con precisiones superadoras y medir con facilidad diversas magnitudes, aún en condiciones remotas, pero, por otro lado, el uso masivo de láseres implica ciertos riesgos que deben ser conocidos y cuantificados correctamente. En particular los láseres utilizados en medicina y odontología deben ser calibrados con precisión, y una cosa similar ocurre en las aplicaciones industriales. Una buena metrología de la radiación es imprescindible.

ESTADO ACTUAL DE LOS EQUIPOS DE METROLOGÍA Y APLICACIONES AFINES

En la Argentina son varios los laboratorios que desarrollan área y sustentan la base de la metrología óptica nacional. El INTI es la institución principal dedicada al quehacer metroológico y es el punto de partida de la cadena de trazabilidad en mediciones de Intensidad luminosa y flujo luminoso en Argentina. La *candela*, unidad fundamental del SI, se realiza a partir de la mediación de potencia láser con un radiómetro criogénico. El alcance actual es en el visible y se planea extender el mismo al UV, debido a requerimientos en el área industrial, Salud y medio ambiente. Una situación similar ocurre en la metrología de longitudes. El metro se mantiene a partir de un sistema de láseres estabilizados en frecuencia con una exactitud de una parte en 10^{11} . En base a este equipo, se realiza la calibración interferométrica de bloques patrones. Un desarrollo en curso utiliza el concepto de *peine de frecuencias ópticas* para ligar las frecuencias ópticas de láseres de referencia a las frecuencias del Cesio (patrones actuales del segundo). Por otro lado, el Instituto de Investigación en Luz, Ambiente y Visión (CONICET-UNT) es un centro de referencia en América Latina para certificaciones fotométricas, cursos de capacitación, actualización y especialización, tareas de asesoramiento y desarrollos a empresas, municipios e instituciones del estado o privadas en aspectos fotométricos de alumbrado interior y exterior. Ofrece capacidades radiométricas espectrales en el rango de longitud de onda desde 250 nm hasta 2500 nm; de colorimetría entre 380 nm y 780 nm y realizan servicios de calibración de detectores. En el CIOP, el LAMECO realiza desde 1995 tareas metroológicas en instrumentos utilizados en el tendido y en el funcionamiento de enlaces de fibras ópticas para comunicaciones. Este laboratorio está en camino de acreditar internacionalmente la capacidad de certificación de equipamiento, instrumental y procesos. Su equipamiento principal consiste en láseres estabilizados de 1550 nm y 1310 nm, atenuadores ópticos variables de 0 a 60 dB, medidores de potencia óptica y un reflectómetro óptico. Gran parte del equipamiento de este Centro está cerca de la obsolescencia. Finalmente se destacan el Laboratorio de Acústica y Luminotecnia (CICPBA), que realiza investigaciones, transferencias tecnológicas y desarrollos en Acústica y Luminotecnia, y sus principales campos de aplicación incluyen urbanismo e iluminación pública, impacto ambiental, iluminación laboral e higiene industrial y fotometría de lámparas y luminarias entre otros; y el laboratorio de la División Óptica Cuántica de CITEDEF, que cuenta con un sistema de

medición de de intensidad de luz para niveles ultra bajos de iluminación y permite medir eficiencias absolutas de detectores de luz en el rango del conteo de fotones.

MEJORAS Y AMPLIACIÓN DE FACILIDADES EXISTENTES PARA PROVEER NUEVOS SERVICIOS DE IMPACTO EN INDUSTRIA, SALUD Y MEDIO AMBIENTE.

Dentro de las posibilidades y de las actuales líneas de trabajo se identifican posibles líneas de acción para incorporar nuevas capacidades y potenciar las existentes. Las siguientes acciones se identificaron como estratégicas:

- Ampliación del rango de calibración en frecuencia láser en forma trazable a patrones.
- Ampliación del rango de calibración de detectores en forma trazable.
- Ampliación del rango de materialización del metro.
- Desarrollo de patrones ópticos de forma local; desarrollo de láseres estabilizados en partes en 10^{11} .
- Incorporación de nuevos laboratorios que presten servicios de metrología (universidades, centros de investigación).

SISTEMAS DE NUEVA GENERACIÓN, TÉCNICAS Y LÍNEAS EMERGENTES.

- Desarrollo de nuevas capacidades de medición y calibración en macro interferometría y nano interferometría).
- Implementar la técnica *Phase Stepping* para la materialización del metro.
- Desarrollar la base de metrología de pocos fotones, asociada a la comunicación segura, biofotónica y a la computación cuántica. Detección eficiente en rangos de intensidad ultra bajo.
- Transferencia de Tiempo y frecuencia: transferencia de frecuencia con incertidumbres inferiores a partes en 10^{-17} hasta en 900 km, y transferencia de tiempo con incertidumbres de 1 ns durante unos cientos de kilómetros.
- Desarrollos de patrones de frecuencia ópticos basados en manipulación de átomos e interferometría de átomos o iones individuales atrapados electromagnéticamente.

2.3. MATERIALES

El *procesamiento de materiales* con láser es la segunda actividad en el uso de los láseres en el mundo, sólo precedida por la *transmisión, almacenamiento y procesamiento de datos*. Esta última moviliza el 50% del monto económico asociado a los láseres, gracias al uso de elementos unitarios de costo bajo pero de distribución masiva. El *procesamiento*, en el que se incluyen tanto los procesos industriales como médicos, implica el manejo de láseres, periféricos e instalaciones relativamente costosas.

Una forma especializada del procesamiento es la *cirugía médica* y los láseres se utilizan cada vez más para una creciente variedad de procedimientos quirúrgicos. Sin duda la aplicación más difundida es la cirugía refractiva, donde hasta hace poco se utilizaban exclusivamente láseres de excímeros, pero que en los últimos años ha visto la irrupción de láseres de femtosegundos. Prácticamente toda esta actividad en el país es privada y escapa a las posibilidades actuales de relevamiento del SINALA, pero sería muy conveniente establecer una conexión entre los dos ámbitos.

Más recientemente, el uso de láseres en salud se ha visto impactado en la modificación a escala micro y nanométrica de biomateriales, con el objetivo de inducir el crecimiento direccional de células (en particular osteoblastos) para mejorar la osteointegración de prótesis. Asimismo, esta metodología se utiliza para mejorar las capacidad bactericidas y retardar o impedir la formación de biofilms. En tal sentido, la disponibilidad de láseres de pulsos cortos (pico y femtosegundos) para llevar a cabo estos desarrollos es de gran importancia.

Entre otras, el procesamiento no médico incluye el corte, la soldadura, el grabado, la estructuración superficial, la deposición de películas y la fabricación de partículas pequeñas, en una amplia gama de materiales.

2.3.1. FABRICACIÓN Y PROCESAMIENTO

Corte y soldadura: El corte por láser es un proceso industrial maduro que con alta velocidad y alta flexibilidad, produce piezas terminadas sin rebabas, y, por ser sin contacto, no experimenta desgaste de herramientas. El corte por láser es un proceso muy preciso, con excelente estabilidad dimensional, con una pequeña zona afectada por el calor y ranuras de corte estrechas. Materiales diversos, como plásticos, cerámica, acero inoxidable, materiales reforzados con fibra de vidrio o carbono, y orgánicos tales como cuero, tela, papel, madera y otros se procesan sin dificultad con láseres gaseosos de CO₂. Su longitud de onda de 10,6 μm permite una absorción óptima para cortar por evaporación o fusión, estos materiales. Sin embargo, los materiales reflectantes a esta longitud de onda, como aluminio, cobre o latón presentan dificultades. Otros materiales transparentes o frágiles como el vidrio o el zafiro necesitan de otro mecanismo de corte. Es por esos requerimientos que hoy día emerge una nueva tecnología que utiliza láseres de aproximadamente 1 μm de longitud de onda y que por lo tanto pueden ser dirigidos hacia el blanco mediante fibras ópticas similares a las usadas en comunicaciones. Los láseres sólidos, ya sean diodos o cristales bombeados por diodos y los láseres de fibra óptica surgen como las alternativas válidas. Estos últimos permiten operar con pulsos ultracortos de ps o decenas de fs, por lo que descansan en otro mecanismo de interacción con el material, *la ablación fría sin fundido*, lo que lo hace casi universal e independiente de la absorción. El corte resulta con contornos mucho más definidos. Típicamente cualquier metal que puede ser soldado por tecnología convencional se puede soldar con un láser. Al igual que en el corte, el principal beneficio resultante del uso de un láser para esta técnica es la alta velocidad de procesamiento sin ningún desgaste de herramienta debido a que es un proceso sin contacto. Las zonas soldadas casi no son afectadas por calor y la pieza casi no requiere procesamiento posterior. La soldadura láser permite un alto grado de automatización. Los diodos láser de alta potencia (> 100 W) han sido los láseres más utilizados hasta el momento en esta aplicación.

Crecimiento de películas asistido por láser: La técnica utilizada es conocida como PLD y consiste en la ablación de un blanco por un haz pulsado intenso, lo que produce un plasma que puede depositarse en diferentes tipos de sustratos. Un equipo estándar de PLD consta de una cámara de alto vacío donde se colocan un blanco del material a crecer y el sustrato sobre el que se quiere depositar la película. La luz intensa de un láser pulsado se enfoca sobre el blanco, proporcionando la energía para la evaporación del material. Posteriormente al impacto del láser se produce un plasma o pluma, constituido por átomos, iones y moléculas del blanco que al incidir sobre el sustrato se condensan y dan lugar al crecimiento del film. Esta técnica ha cobrado importancia gracias al desarrollo de láseres pulsados potentes y al elevado grado de congruencia de la evaporación, lo que permite conservar la estequiometría original del blanco aún en óxidos complejos como los superconductores de alta temperatura crítica o las manganitas magnetorresistivas, por citar dos de los ejemplos más populares. Las características del depósito obtenido por PLD se diferencian de las obtenidas por otros métodos, resultando en algunos casos la única manera de obtener depósitos homogéneos. El rango de materiales a depositar es extremadamente amplio, desde metales hasta óxidos complejos, obteniendo un excelente control de la estequiometría. Variando las condiciones de trabajo, es factible obtener diferentes formas y tamaños de partículas. Utilizando sustratos apropiados, se obtienen películas delgadas amorfas o epitaxiales, teniendo un muy buen control sobre el

espesor y características del depósito. Asimismo, se utiliza interferometría para la formación de patrones micro y nano estructurados de un material. La posibilidad de que una misma fuente láser sea usada en diferentes cámaras hace versátil el uso de estos sistemas para el depósito de materiales que puedan resultar contaminados entre sí. La técnica de PLD permite la fabricación de materiales con propiedades novedosas, sea por el tipo de material usado o por el apilamiento de capas con propiedades conocidas. Estas películas tienen potenciales aplicaciones en los campos de la microelectrónica, la industria aeroespacial, las ciencias de la salud y las TICs, que abarcan sensores de campo, memorias no volátiles, biosensores y MEMS.

Fabricación de nanopartículas: La ablación láser de blancos sumergidos en líquidos realizada con pulsos cortos y ultracortos permite la obtención de partículas nanométricas esféricas y de tamaño controlado. En los últimos años, la ablación con láser en solución (LASiS) surgió como una alternativa a los métodos de reducción química tradicionales para la obtención de nanopartículas de metales nobles. LASiS es una técnica que no necesita moléculas estabilizantes u otros productos químicos y las partículas obtenidas están listas para una funcionalización adicional o se puede utilizar sin protegerlas. La ablación con láser pulsado (varios nanosegundos o más corto) de blancos sólidos en distintas atmósferas conduce a la formación de nanopartículas. Esta técnica, conocida como PLA, se ha convertido en un método prometedor en la síntesis de nanoclusters para fotónica, electrónica y medicina. El método tiene varias ventajas en comparación con las técnicas más tradicionales. En particular, varios estudios experimentales indican que el tamaño del clúster y su distribución podrían ser controlados eligiendo cuidadosamente los parámetros y propiedades de la irradiación y la atmósfera de fondo.

Limpieza con láser: La ablación láser permite realizar la limpieza de la superficie de objetos, sin alterar el sustrato. Esta técnica se utiliza para eliminar por ejemplo, suciedad, óxido, pinturas o restos de material de piezas y elementos en diversas industrias y en objetos de valor patrimonial como papeles antiguos, pinturas, manuscritos, esculturas y piezas de vidrio, metal, tela o cuero. Este proceso puede hacerse *in-situ* junto con técnicas láser para la identificación de materiales y componentes. Una variante de la técnica permite la medición automática de limpieza o nivel de suciedad, aplicable a superficies de objetos, manufacturas en etapa de producción, control de procesos industriales, etc.

Grabado: La iluminación UV, estructurada mediante métodos interferométricos, del núcleo desnudo de fibras ópticas permite grabar redes de Bragg, dispositivos esenciales para la construcción de sensores ópticos de temperatura, presión, esfuerzo, etc. La cuarta armónica de un láser de neodimio YAG o la tercera armónica de un láser amplificado de titanio Zafiro mode locking, se usan para este fin. Los láseres de pulsos ultracortos permiten producir daño fotorrefractivo y por lo tanto se utilizan para grabar guías de onda sobre sustratos planos y producir dispositivos de la óptica integrada como moduladores, acopladores, conmutadores, láseres, dobladores de frecuencia, etc. Otros desarrollos locales en el procesamiento de materiales incluyen la estereolitografía, que utiliza un foto-polímero epoxi. Un modelo CAD en 3D se corta en muchas capas y luego se transfiere el diseño a la herramienta. El haz de láser es dirigido por un cabezal robótico que deposita el polímero en la zona iluminada de la pieza. La estereolitografía utiliza un láser UV para endurecer selectivamente un polímero fotosensible. Además, con la fotolitografía por dos fotones con resolución por debajo del micrón, se ha incursionado en la fabricación de dispositivos de microfluídica, sustratos para crecimiento dirigido de células, y estructuras tridimensionales.

ESTADO ACTUAL DE LOS EQUIPOS

A pesar de tener un gran desarrollo internacional, la utilización de Sistemas Láser para el procesamiento y crecimiento de materiales está muy poco desarrollada en Argentina. Contados laboratorios nacionales investigan, desarrollan y utilizan estas técnicas. Entre ellos podemos mencionar los siguientes grupos: El INTECIN (Facultad de Ingeniería Universidad de Buenos Aires) es un laboratorio de Ablación Láser, creado en 1996, fue el primero en desarrollar en el país la técnica PLD para el crecimiento de películas

delgadas y multicapas. La investigación ha estado orientada al crecimiento epitaxial de materiales cerámicos y semiconductores y a la caracterización de sus propiedades microestructurales y de transporte. Su equipamiento incluye un láser de Nd: YAG Q-switch con posibilidad de emitir 1064, 532, 355 y 266 nm, @ 10Hz, un láser excímero XeCl, 308 nm, pulsos de 30 ns, 200 mJ/pulso y una cámara para PLD. Actualmente desarrolla un proyecto interdisciplinario que combina habilidades y experiencias con el Laboratorio de Biomateriales de la Facultad de Odontología. En el proyecto se realizará un estudio sistemático de la influencia de los tratamientos asistidos por láser en implantes de Ti, para mejorar su osteointegración. En el CAC-CNEA, el Departamento de Materia Condensada cuenta con un sistema de crecimiento de films delgados mediante PLD basado en un láser Nd:YAG pulsado y cuadruplicado en frecuencia hasta 266 nm, monitoreado mediante un sistema de caracterización por difracción de electrones de alta energía (RHEED). El CIOP (CONICET-CIC-UNLP) cuenta desde el año 1995 con una máquina de corte computarizado con láser de CO₂ de 1,5 kW (Mazak Super Turbo X510). En casi veinte años de funcionamiento del servicio de maquinado láser del CIOP se atendieron más de 1500 solicitudes que implican más de 20000 horas de operación. Actualmente, cuando existen en el país unas 25 máquinas afines, el CIOP es el referente nacional en temas relacionados con el corte láser. En la misma institución, el LALFI (Laboratorio de Ablación Láser, Fotofísica e Imágenes 3D) realiza desde 1999 tareas de Limpieza con láser y espectroscopía LIBS (Laser Induced Breakdown Spectroscopy) mediante ablación con láseres de Nd:YAG Q-switch. También, desde 2010 se encuentra en funcionamiento el Laboratorio PUL (Pulsos Ultracortos de Luz), que utilizando la facilidad de pulsos ultracortos (Spectra Physics, modelos MaiTai + Empower + Spitfire) del Centro se dedica a aplicaciones de micromaquinado, generación de nanopartículas, grabado de guías de onda en NbO₃Li con aplicación a dispositivos de óptica integrada y grabado de redes de Bragg. El laboratorio Láser del INFIQC (CONICET-UNC) dispone de un sistema de ablación basado en un láser de Nd:YAG pulsado y una cámara de vacío para llevar a cabo experimentos de PLD; este equipo también es operado por investigadores del grupo de Ciencia de Materiales de la Facultad de Matemática, Astronomía y Física, Universidad Nacional de Córdoba. Asimismo, en el INFIQC se llevan a cabo procesos de estructuración de distintos tipos de materiales (en particular polímeros y biomateriales) mediante ablación láser y DLIP. El INFIQC cuenta con láseres de Nd:YAG con pulsos de nanosegundos con los 4 armónicos y prevé la adquisición de láseres con pulsos de picosegundos para mejorar las prestaciones de estas metodologías. Otro sistema de PLD operado por Departamento de Física de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnológicas de la Universidad Nacional de Tucumán está dedicado al proyecto FONARSEC “Plataforma Tecnológica de Circuitos Integrados y Encapsulados para Iluminación más Eficiente”, que busca fabricar y caracterizar nanoestructuras emisoras de luz para el desarrollo de iluminación LED.

Finalmente es destacable la existencia de distintas empresas argentinas de base tecnológica dedicadas a aplicaciones de luz láser: TOLKET, que comercializa un sistema de microlitografía láser basado en una patente Argentina en microlitografía SPAG. Existe actualmente uno de estos equipos funcionando para aplicaciones biológicas en el *Instituto de Investigación Médica Mercedes y Martín Ferreyra*, en la ciudad de Córdoba. La compañía MUTECH, con base en la ciudad de San Carlos de Bariloche, desarrolla y vende proyectos, sistemas y equipamiento científico y tecnológico en las áreas de microfabricación, nanomecánica y electrónica. La instalación de un equipo de litografía óptica de esta compañía en el IFIBA es inminente.

2.3.2. ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

Los Ensayos no destructivos pueden definirse como aquellos métodos de ensayo utilizados para examinar o inspeccionar un material sin impedir su utilidad futura. Esto incluye también aquellos ensayos que se llevan a cabo en línea de producción de manera de no alterar su continuidad. Esta actividad es una de las primeras que se vieron beneficiadas con la introducción del láser en 1960; sin embargo, no existen

actualmente equipos específicos adheridos al SINALA, en esta temática, quizás por el escaso tiempo de funcionamiento efectivo del Sistema.

ESTADO ACTUAL DE LOS EQUIPOS

Entre los grupos con más actividad destacan:

- CNEA. La importancia que adquirieron las técnicas ópticas en END, hizo que en 1986 se decidiera incorporar nuevas líneas de investigación y desarrollo vinculadas a las aplicaciones de la óptica y el láser. Esto llevó a la conformación del Laboratorio de Óptica y Láser (LOL), que se dedica principalmente desde su creación, al estudio no destructivo ni invasivo de materiales y componentes. Sus líneas de trabajo incluyen, entre otras, la caracterización de superficies por correlación de *speckle* e intensidad media dispersada y el estudio de la rugosidad.
- IFIR (CONICET-UNR). Laboratorio de Metrología Óptica y de Fibras Ópticas. En el campo de la metrología óptica, los trabajos tienen como objetivo el desarrollo de métodos ópticos, en particular aquéllos basados en el fenómeno de *speckle*, con aplicación en mecánica experimental, ensayos no destructivos y ciencia de materiales. Poseen un láser de Nd:YAG de doble pulso, especial para holografía interferométrica.
- Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Delta. Laboratorio de Optoelectrónica y Metrología Aplicada. Es un laboratorio de investigación y vinculación con la industria en el área de la Fotónica, láser y tecnologías de la luz. Realizan mediciones precisas y la caracterización de materiales por técnicas ópticas, orientadas a las siguientes áreas: estudio de topografía de superficies, tomografía óptica de medios semitransparentes (OCT), medición de espesores, y análisis de materiales multicapas. OCT o tomografía de coherencia óptica es una técnica basada en la interferometría con fuentes de baja coherencia o de banda ancha, que pueden ser diodos superluminiscentes o láseres con pulsos extremadamente cortos (láseres de femtosegundo). Es una técnica muy utilizada en Oftalmología y muy versátil para tomografía de materiales, con una variedad de aplicaciones en el área de ensayos no destructivos y metrología en la industria. Esta técnica aún no ha sido adherida al SINALA, pero está pronta para su incorporación al sistema.
- CIOP (CONICET-CICPBA). Se estudia el fenómeno de *speckle* dinámico, tanto en su naturaleza física, como en sus aplicaciones en procesos biológicos, industriales, biomédicos, etc. Asimismo se desarrollan modelos numéricos que describen la evolución temporal del fenómeno. En las aplicaciones del mismo pueden mencionarse: la determinación de viabilidad y dureza de semillas, maduración o daño en frutos, actividad de bacterias y otros microorganismos, medición de flujo sanguíneo, coagulación de la sangre, estudio de comportamiento de polímeros, geles, arcillas, etc. Actualmente incorpora un equipo automatizado basado en una cámara rápida y un software especializado en medición de perfusión sanguínea, que podría ser incorporado al SINALA. Asimismo se desarrollan técnicas de holografía dinámica con implementación de correladores ópticos para el reconocimiento de imágenes, mediante el registro holográfico de volumen en un medio fotorrefractivo.

- INFIQC (CONICET-UNC): Se llevan a cabo estudios de ablación láser acoplados a espectroscopía de emisión de plasma (LIBS) con fines analíticos en distintos tipos de materiales. Por otro lado se realizan estructuras 3D de polímeros con fines biológicos y de semiconductores para su uso en LEDs. Recientemente, se realizan tratamientos superficiales de piezas dentarias con láseres para mejorar la adhesión y resistencia de materiales de restauración dental.

MEJORAS Y AMPLIACIÓN DE FACILIDADES EXISTENTES PARA PROVEER NUEVAS HERRAMIENTAS

El desarrollo próximo hará que el número de aplicaciones de procesamiento de materiales se expanda más allá del procesamiento tradicional de metales. Esto será en parte el resultado del desarrollo de nuevos láseres de fibra y de diodos y en parte debido al desarrollo de láseres industriales de pulsos cortos. Esta tendencia es probable que continúe a medida que sea eficiente procesar más y más materiales con láser en lugar de máquinas herramientas tradicionales.

Siendo PLD una técnica muy desarrollada a nivel internacional para el estudio de materiales y la fabricación de prototipos de dispositivos (por ej. sensores), es importante apuntalar el desarrollo a nivel nacional de las técnicas asistidas por láser, principalmente en el ámbito de grupos con experiencia previa y capacidades instaladas operativas, pero sin excluir las iniciativas en nuevos ámbitos.

Se debe alentar el acercamiento al sector de la medicina que utiliza láseres de potencia, principalmente en la Oftalmología. Un somero reconocimiento de las instalaciones actuales indica que ya se encuentran en operación cuatro láseres de femtosegundos para cirugía de cataratas en la zona metropolitana. Los equipos de cirugía fotorrefractiva basados en láseres de excímero ArF que emite en 193 nm, son mucho más numerosos y están distribuidos en casi todo el país.

EQUIPOS DE NUEVA GENERACIÓN, TÉCNICAS EMERGENTES. POSIBLES ACCIONES

En los últimos años han surgido nuevas generaciones de equipos, o de técnicas asociadas, que podrían ser relevantes para el desarrollo científico-tecnológico del país, y que no están disponibles para su comunidad, tales como:

- Corte y soldadura 3D con láseres de 1 μm . Estos láseres (Nd:YAG, fibras, diodos o láseres de disco) ofrecen la gama de longitud de onda óptima para el procesamiento de metales debido a la alta absorción del material. Proporcionan además un perfil de haz adecuado para trabajos con gran profundidad de foco. Un beneficio adicional es que la entrega de potencia se hace a través de fibra óptica, de manera que el cabezal de operación puede ser manipulado utilizando robots de bajo costo. Se planea que en algunas aplicaciones los láseres de fibra puedan reemplazar los sistemas láser de CO₂.
- Micromaquinado con láseres ultrarrápidos de fibra óptica. El principal reto es disponer de amplificadores que lleven los pulsos generados en fibra monomodo a los niveles compatibles con las aplicaciones industriales realistas. Ya se han alcanzado buenos resultados en el mecanizado de *stents* de Nitinol, Teflón y polímeros biodegradables.
- Mosaicos de láseres de diodo. Cuando los diodos láser se agrupan en arreglos de una o dos dimensiones, la potencia de salida total puede extenderse dentro de los kW. Con formas de haz típicamente lineales o rectangulares, estos dispositivos no son adecuados para la perforación o el

corte, donde se requiere un haz enfocado de forma precisa. Sin embargo, son adecuados para aplicaciones que incluyen soldadura, revestimiento y tratamiento térmico.

- Fabricación de prototipos con *sinterización selectiva por láser* (SLS). Es un proceso similar al de la estereolitografía pero permite fabricar con una amplia gama de materiales, incluidos los metales. Utiliza un láser de CO₂ sellado o un láser de fibra de 1 μm. Los beneficios de SLS son su alta precisión y el acabado de la superficie lisa de las piezas.

La comunidad de fotónica y óptica argentina ha tenido tradición de relacionarse con la industria, y generar desarrollos en el área de ensayos no destructivos, que ha llevado en algunos casos al registro de patentes, productos y generación de empresas de base tecnológica en otros. Ejemplo de esto es el ELAL (Equipo Láser para Acreditación de Limpieza), que parte de un desarrollo y patente entre grupos del CIOP y la Universidad de Buenos Aires, y que hoy comercializa la empresa Tolket, ya mencionada. El incremento de la demanda industrial en control de producción y control de calidad asociado al crecimiento de la industria argentina de los últimos años, ha generado un intercambio interesante entre los actores de la comunidad científica y los representantes del aparato productivo. Ejemplos de esto son las rondas de inversiones tecnológicas de la Provincia de Buenos Aires, las herramientas de promoción y creación de pymes de base tecnológica de los diversos Ministerios nacionales, el fomento de emprendimientos con fuerte base tecnológica a niveles provinciales y nacionales, etc. En este sentido, desde el SINALA se podrían fomentar los desarrollos tendientes a resolver problemas de la industria, proveyendo financiamiento para convertir prototipos de laboratorio ya existentes en sistemas versátiles y de uso extendido, con la contraparte de que este equipo debe estar disponible para la comunidad científica y servicios a terceros a través del SINALA.

2.4. MICROSCOPIAS ÓPTICAS CON LÁSER

Actualmente, la técnica de microscopía óptica confocal es la más extendida entre aquellas que utilizan los láseres como fuente de iluminación, interrogación y manipulación. Esta técnica consiste en barrer una muestra punto a punto y coleccionar la señal de interés a través de un *pinhole*, de manera de reconstruir pixel a pixel una imagen. Utilizando objetivos de microscopio de alta apertura numérica se consigue adquirir una imagen de resolución lateral en el límite de difracción y de resolución axial en el orden del micrón. Esta técnica es ampliamente utilizada, especialmente para aplicaciones biológicas y de ciencia de materiales, y existen en el país varios microscopios confocales comerciales y de fabricación local. Según la complejidad del sistema de iluminación o *probe*, estos sistemas se pueden adherir al SINALA o al SNM.

A partir de aquí, en configuraciones similares, existen otras variantes de microscopía láser, que no tienen un extendido desarrollo local. Sin embargo, la comunidad óptica ha hecho importantes aportes en microscopía, pero que aún no han tenido un uso extensivo en el resto de la comunidad científica.

En la **microscopía de tiempo de vida o FLIM** (Fluorescence Lifetime Imaging) es una microscopía de fluorescencia en la que se mide el tiempo de vida que el fluoróforo permanece en el estado excitado, antes de decaer al estado fundamental. Este tiempo de vida depende del entorno (polaridad, pH, temperatura, concentración de iones, etc). Esta microscopía puede llevarse a cabo en el dominio temporal o espectral. Para el primer método se utilizan láseres pulsados en los pico o femtosegundos de baja potencia, dependiendo de la aplicación (también pueden usarse leds, según el caso).

La **Microscopía de imágenes elementales acoplada LIBS** permite obtener espectros LIBS con resolución espacial, los cuales contienen información respecto a la composición elemental en cada píxel o región analizada. Esta técnica fue recientemente desarrollada por grupos franceses y tiene un gran potencial analítico, tanto en la biología, geología, materiales, etc.

Las **microscopías ópticas no lineales** abarcan un conjunto de técnicas entre las que podemos nombrar la de excitación de fluorescencia por dos fotones (TPEF), la de segunda armónica (SHG), tercera armónica (THG), Raman antiStokes coherente (CARS), suma de frecuencias (SFG), etc. En esta categoría podemos englobar a todas las microscopías que utilizan la óptica no lineal como mecanismo de contraste. Para este tipo de microscopías se utilizan generalmente láseres de pulsos ultracortos, aunque actualmente los láseres de fibra ofrecen una alternativa más barata y robusta.

La **microscopía de superresolución (STED)** ha sido recientemente implementada en el país. Esta técnica utiliza más de un láser de alimentación y puede ser operada con láseres continuos o pulsados de alta potencia, sólidos o de fibra. Existen también otros métodos basados en la detección y localización de moléculas únicas que utilizan el mismo tipo de instrumental.

También existen un conjunto de técnicas emergentes desarrolladas por los investigadores argentinos, entre las que podemos nombrar la microscopía de expansión-recuperación térmica (ThERM), que utiliza láseres de baja potencia acoplados a fibra y es de patente argentina. Otra técnica de reciente implementación en etapa experimental es la de microscopía de iluminación en plano único (SPIM), que utiliza un láser de baja potencia enfocado lateralmente en una lámina, con la capacidad de seccionar la muestra lateralmente. En el mismo Centro se encuentra un microscopio de barrido orbital orientado a hacer seguimiento de partículas únicas con altísima localización. Este microscopio actualmente puede ser usado con un láser de pulsos de femtosegundos (Ti:Za), o con un láser pulsado de fibra, adquirido a través del SINALA.

ESTADO ACTUAL DE LOS EQUIPOS

Existen en el país 3 microscopios de tipo FLIM, dos en la Ciudad de Buenos Aires (UBA y UCA) y uno en Córdoba (UNRC), aunque otros grupos manejan estas técnicas por colaboraciones o prototipos caseros (LEC-UBA y LAMAE-UNER)

En el país existen un par de microscopios basados en procesos no lineales en la Ciudad de Buenos Aires (FCEyN-UBA), y uno en el CAB-CNEA. Microscopios de superresolución han sido implementados por dos grupos de investigación en la Ciudad de Buenos Aires (CIBION-CONICET y BIOMED-UCA-CONICET).

En la Facultad de Ingeniería de la UBA se dispone de un sistema ThERM que utiliza láseres de baja potencia acoplados a fibra y es de patente argentina. Otra técnica de reciente implementación en etapa experimental es la de SPIM, en FCEyN-UBA.

POSIBLES ACCIONES

La mayoría de los instrumentos de este campo está adheridos al Sistema Nacional de Microscopía (SNM), pero teniendo en cuenta que las técnicas emergentes en microscopía láser tienen cierta representación en la comunidad científica argentina, a nivel de prototipos de laboratorio (y en varios casos, no adheridos al sistema), sería de interés del SINALA incorporar algunas de estas técnicas para uso extendido de la comunidad científica y tecnológica.

En este sentido, podría financiarse la puesta en funcionamiento de alguna de estas técnicas complejas y emergentes para uso exclusivo de servicios de alta complejidad, y entrenar operadores especializados para este objetivo. Estos equipos podrían formar parte de un Laboratorio Nacional o incluso de un Centro

Interinstitucional¹, dedicado principalmente a brindar servicios externos, como el que se mencionó anteriormente para el caso de otros equipamientos de gran envergadura.

Finalmente cabe aclarar que los láseres continuos también tienen uso extendido en medicina, odontología y veterinaria, tanto en cirugía como en técnicas de diagnóstico. Los láseres gaseosos usados mayoritariamente hasta ahora en estas aplicaciones están siendo reemplazados rápidamente por láseres de diodo semiconductor o láseres de fibra. Este campo no ha sido relevado por el SINALA.

2.5. SISTEMAS DE SENSADO REMOTO

Otro campo donde el uso de láseres pulsados es imprescindible es el de la Teledetección (*Remote Sensing*), y ya sea en la detección de una nube de contaminante o en la determinación precisa de una órbita satelital, la medida del tiempo de tránsito desde el láser hasta el blanco y su regreso, permite conocer la distancia que los separa, con una precisión creciente a medida que disminuimos la duración de los pulsos, y en un rango cada vez mayor a medida que aumentemos la potencia del láser. Ejemplos de esta aplicación son los radares láser, LIDAR, LADAR y LIDAR topográfico. Estos sistemas se utilizan para mediciones de distancia y ranging, estudios atmosféricos sobre presencia de aerosoles y particulado atmosférico, estudios topográficos y geodesia entre otros

ESTADO ACTUAL DE LOS EQUIPOS ADHERIDOS AL SINALA

Entre los Centros con sistemas láseres adheridos al SINALA que involucran el sensado remoto pueden citarse la División LIDAR de CITEDEF, que ha desarrollado diversos equipos utilizados en el país para la investigación de la atmósfera, el OAF-UNSJ que opera desde 2006 un sistema de medición de órbitas satelitales, y el Observatorio Argentino Alemán de Geodesia (AGGO) que dispone de un módulo SLR diseñado para medir distancias a satélites con una precisión mejor que 10 mm, tanto para satélites de órbita baja como para geostacionarios.

2.6 EQUIPOS DE MEDIANO Y GRAN PORTE NO ADHERIDOS AL SINALA

Además del listado anterior, existen equipos estratégicos de gran porte que no han sido adheridos al Sistema. Esto no significa que están cerrados apartados al resto de la comunidad, sino que la Institución que los patrimonializa o dirige no ha considerado oportuna su adhesión. Sería de provecho para el conjunto de potenciales usuarios y adherentes identificar eventuales objeciones a la adhesión para facilitar estos procesos. Entre estos equipos se destacan de forma clara los del Proyecto LASIE del CAB-CNEA. Las aplicaciones de estos láseres van desde su utilización en aplicaciones de pulsos ultracortos para estudios de dinámica molecular, la formación y la dinámica de clústeres, la fluorescencia resuelta en el tiempo y la interacción de nanopartículas con pulsos ultracortos, hasta procesos de separación isotópica: cuando al interactuar la luz con la materia se consigue que solo una especie de isótopos absorba fotones, se genera una excitación o ionización selectiva que facilita una posterior separación isotópica por distintos procesos fluido dinámicos o electromagnéticos. Para separar isótopos pesados con esta técnica, resulta crítica además de la longitud de onda, el ancho de línea de la luz utilizada a efectos de que excite mayormente una especie y no otra. Los principales equipos disponibles en este Proyecto son:

- dos sistemas integrados de emisión láser de nanosegundos en el rango de 1 a 18 μm a partir de oscilación y amplificación paramétrica (OPO-OPA),

¹ Se pretende una asociación multidisciplinaria para la conformación de centros interinstitucionales y así complementar capacidades y recursos en torno a una problemática o tema estratégico. Programa de Centros Interinstitucionales en Temas Estratégicos, Secretaría de Articulación Científico-Tecnológica, MINCyT.
<https://www.argentina.gob.ar/ciencia/sact/cites>

- dos láseres de CO₂, uno pulsado TEA sintonizable en 9-11 μm, configuración MOPA, de 5 Joule por pulso a 10 Hz y otro continuo de 20 kilowatts en 10.6 μm,
- un sistema láser de femtosegundos Clark-MXR de 1 W de potencia media y longitud de onda de 775 nm, con pulsos de salida de aproximadamente 150 fs, y frecuencia de repetición desde *single shot* a 1 kHz. Cuenta además con dos amplificadores ópticos paramétricos que permiten obtener a la salida haces independientes de longitudes de onda entre los 190 nm y 17 μm con energías por pulso entre los cientos de nanojoules y decenas de microjoules.

Asimismo, a mediados del año 2021 se completó la instalación de un láser de femtosegundos Pharos Light Conversion en el Laboratorio de Láseres del Instituto de Nanosistemas de UNSAM. Se trata de un sistema que entrega pulsos de 1030 nm y 190 fs a una frecuencia de hasta 200 kHz y una potencia de 6 W (energía max. 1 mJ @ max. 6 kHz) acoplado a un amplificador óptico paramétrico (OPA) híbrido ORPHEUS-F que permite sintonizar la longitud de onda entre 640 nm y 2500 nm. Este sistema tampoco está adherido al SINALA.

2.7 RECOMENDACIONES GENERALES

Un problema detectado en cuanto a las facilidades para efectuar mejoras en los sistemas láser es el limitante económico que establece que el monto no puede superar el 30% del valor del equipo.

Se entiende que este limitante ha sido concebido en el caso de una mejora por obsolescencia de alguna de las partes del equipo con el objetivo de mantener el servicio que éste brinda. Sin embargo, existen otras mejoras que podrían encuadrarse del mismo modo, pero entendemos que no están tenidas en cuenta bajo esta premisa, dado que no se contempla el servicio que el sistema brinda.

Por ejemplo, cuando la mejora tiene como objetivo aumentar la **calidad** del servicio, como es el caso del reemplazo de una tecnología; o cuando la mejora implica una ampliación en cuanto al **alcance** del servicio, no hay comparación posible respecto al valor económico del equipo, ya que dicha ampliación modifica el servicio que éste brindará, ya sea mejorando la calidad de este o ampliando el alcance de la prestación.

Se recomienda entonces que cuando el límite del 30% no pueda alcanzarse sea el CA quien evalúe si aplica o no el pedido. En caso de que el CA recomiende la mejora deberá ampliar la justificación y ésta deberá estar enmarcada en los lineamientos del plan estratégico del SINALA.

El mantenimiento de las prestaciones de los equipos láser en general requiere de un constante reemplazo de partes que al deteriorarse limitan las características técnicas y el desempeño de los equipos. A modo de ejemplo se pueden listar insumos consumibles como lámparas flash o diodos láser de bombeo, pero también componentes que sufren deterioro con el uso frecuente como espejos y lentes sometidos a haces de alta energía, sistemas de estabilización o equipamiento satélite que permite asegurar trazabilidad en aplicaciones metrológicas. Por otro lado es frecuentemente necesaria la actualización de tecnologías que son superadas por nuevos desarrollos, como es el caso de los láseres gaseosos o de colorantes reemplazados casi totalmente por láseres de estado sólido. Asimismo en muchos casos los equipos deben ser enviados al exterior para su calibración. Al igual que en otros campos, cada vez más la instrumentación tiene una elevada incidencia del material computacional y de software, lo que hace que la obsolescencia se alcance rápidamente. Entendemos que será fundamental para el SINALA poder establecer un equilibrio en el gasto entre el reemplazo de equipos y técnicas obsoletas y el fondeo de líneas de trabajo novedosas y de implementación de tecnologías emergentes.

En este sentido se vislumbra que se debería considerar, por ejemplo:

- El reemplazo de partes para mantener operativos y mejorar las prestaciones de los sistemas existentes,
- La incorporación de láseres de fibra como reemplazo de los láseres de pulsos, incentivando la investigación y desarrollo en esta área.
- El reemplazo de tecnología existente y desarrollo a nivel local de patrones ópticos láser para metrología y sistemas de mediación.
- En el caso de que aún existan, se recomienda el reemplazo de láseres de colorantes de nanosegundos por OPO/OPA sintonizables en el UV-visible, fundamentalmente en aplicaciones de espectroscopías resueltas en el tiempo.
- La ampliación del uso de software libre y la incorporación de técnicas de control desarrolladas en el país.

Argentina ocupa una posición geográfica privilegiada en el hemisferio sur y son numerosas las oportunidades de instalación de facilidades de obtención de datos atmosféricos, oceánicos y ambientales. El mantenimiento y la ampliación de los equipos que utilizan láseres (LIDAR, SLR, etc) también debe contemplarse especialmente.

Para potenciar las líneas de espectroscopías de ultra alta resolución, y teniendo en cuenta las fuentes láser existentes en el país, sería interesante incorporar técnicas hoy muy limitadas o vacantes en el país, basadas en:

- Acceso a intervalos espectrales más amplios.
- Sistemas con control activo y estabilización para acceso a líneas super-angostas (sub kHz), y acceso o equipamiento interferométrico para caracterización fina de la emisión.

En aplicaciones metrológicas, se recomienda prestar especial atención al desarrollo de nuevas capacidades de medición y calibración en macro interferometría y nano interferometría. Algunas de las herramientas metrológicas emergentes en que el país muestra cierto atraso son

- Implementaciones de técnicas de tipo Phase Stepping para la materialización del metro.
- Desarrollo de la base de metrología de pocos fotones, asociada a la comunicación segura, biofotónica y a la computación cuántica. Detección eficiente en rangos de intensidad ultra bajo.
- Transferencia de patrones en tiempo y frecuencia: transferencia de frecuencia con incertidumbres inferiores a partes en 10⁻¹⁷ hasta en 900 km, y transferencia de tiempo con incertidumbres de 1 ns durante unos cientos de kilómetros.
- Desarrollos de patrones de frecuencia ópticos basados en manipulación de átomos e interferometría de átomos o iones individuales atrapados electromagnéticamente.

En este sentido, desde el SINALA entendemos que se deben fomentar los desarrollos tendientes a resolver problemas de la industria, proveyendo financiamiento para convertir prototipos de laboratorio ya existentes en sistemas versátiles y de uso extendido, con la contraparte de que este equipo debe estar disponible para la comunidad científica y servicios a terceros a través del SINALA. Asimismo, sería de interés para el SINALA poder incorporar algunas de las técnicas de microscopía actualmente disponibles sólo en laboratorios de investigación, en facilidades para uso extendido de la comunidad científica y tecnológica. En este sentido, podría financiarse la puesta en funcionamiento de alguna de estas técnicas

complejas y emergentes para uso exclusivo de servicios de alta complejidad, y entrenar operadores especializados para este objetivo. Estos equipos podrían formar parte de un Laboratorio Nacional o incluso de un Centro Interinstitucional, dedicado principalmente a brindar servicios externos, como el que se mencionó anteriormente para el caso de otros equipamientos de gran envergadura.

3. CONCEPCIÓN DE UN PLAN ESTRATÉGICO PARA LOS SISTEMAS LÁSER EN LA ARGENTINA

El Sistema Nacional de láseres SINALA fue creado el 2 de octubre de 2012 mediante Resolución Nro. 810 del MINCyT y funciona bajo la órbita de la Secretaría de Articulación Científico-Tecnológica. El SINALA viene recolectando valiosa información que permite una visión global sobre el estado del desarrollo, como así también las necesidades y falencias existentes en Argentina en lo referido a Sistemas Láser, su desarrollo y aplicaciones.

En términos generales, un instrumento es admisible para ser adherido al SINALA si,

- A través de técnicas láser, implementa metodologías de obtención de datos o mediciones, o genera procesos de tratamiento de materiales o superficies, de caracterización, o bien realiza mecanizados y trabajos de corte de precisión, no realizables a través de otras técnicas, o no disponibles en el país.
- Por medio del uso de un sistema láser y apoyándose en equipamiento adicional disponible es capaz de proveer servicios de alta complejidad y/o críticos para la Argentina.
- Emite luz láser, en un intervalo de potencias/energías o de longitudes de onda o de duración de pulso que haga que se trate de un equipo costoso y de difícil adquisición.

Esta clasificación es lábil y tiene como objetivo fijar una idea general de lo que se entiende como un gran equipo láser. Uno de los objetivos del Consejo Asesor es evaluar cada una de las presentaciones con criterio amplio, atendiendo a consideraciones de uso y estado general del equipo, características de los potenciales servicios a prestar, infraestructura general de la Institución Beneficiaria, infraestructura del Laboratorio que aloja al equipo y equipamiento accesorio disponible, condiciones regionales y de otras índoles.

Dada la versatilidad de los láseres y la diversidad de instrumentos que emplean un emisor de luz láser en alguna de sus etapas, se establece como pauta de admisión que el dispositivo de emisión de luz por amplificación estimulada de radiación que integra el equipo debe ser uno de los constituyentes principales del mismo, tanto en su funcionamiento como en costo monetario relativo y/o criticidad de la facilidad del sistema

Para mantener y potenciar los sistemas de láseres en Argentina se hace indispensable poner en práctica un Plan Estratégico basado en un análisis de los datos colectados con una visión integradora que permita articular los esfuerzos de todos los organismos de ciencia y técnica.

Con experimentos cada vez más sofisticados y que requieren cada vez más complejas técnicas de instrumentación, la colaboración puede ser una forma útil de reunir la experiencia y el equipamiento necesarios.

A partir del análisis diagnóstico se han definido cuatro ejes principales para este Plan Estratégico:

1. Reemplazo de equipos en riesgo de obsolescencia dirigido a instrumentos que si bien se encuentran en funcionamiento, su antigüedad hace casi imposible mantenerlos por falta de repuestos y alta tasa

de fallas. Modernizar y ampliar las prestaciones existentes para promover nuevas herramientas y nuevos servicios.

2. Adquisición de equipos de nueva generación para reforzar las áreas existentes y cubrir áreas y regiones geográficas de vacancia con el fin de satisfacer la demanda de servicios/análisis de alto nivel en distintas áreas del sector científico y tecnológico.
3. Formación de Recursos Humanos que garantice el uso óptimo de los equipos.
4. Desarrollo nacional de sistemas láser emergentes y transferencia de la tecnología a otros grupos de investigación o a usuarios.



4. PLAN ESTRATÉGICO

A continuación se presentan las líneas de acción sugeridas por el Consejo Asesor del SINALA

4.1. REEMPLAZO DE EQUIPOS EN RIESGO DE OBSOLESCENCIA. MEJORAS Y AMPLIACIÓN DE CAPACIDADES

En base al análisis realizado para los sistemas mencionados y teniendo como objetivo servir a los intereses globales del sistema de CyT de Argentina se propone un plan de adquisición de grandes equipos considerando la posibilidad de satisfacer las necesidades en forma óptima. Esta propuesta tiene en cuenta, en el siguiente orden de prioridades:

1. La modernización y ampliación de facilidades existentes para proveer nuevas herramientas en el manejo de tecnologías emergentes.
2. Las necesidades de reemplazo de equipos en riesgo de obsolescencia
3. La cobertura de necesidades regionales.
4. El crecimiento de los grupos con fuertes antecedentes en investigación, desarrollo tecnológico y servicios a la comunidad.

4.2. ADQUISICIÓN DE EQUIPOS DE NUEVA GENERACIÓN

En base al análisis realizado para los sistemas mencionados y teniendo como objetivo servir a los intereses globales del sistema de ciencia y técnica de Argentina se observa la necesidad de incorporar sistemas láser de última generación y técnicas asociadas que puedan satisfacer necesidades a nivel nacional y/o cubrir áreas de vacancia, y que sean relevantes para el desarrollo científico tecnológico del país, como por ejemplo: Facilidad de attosegundos con aplicaciones en física atómica y control coherente; Facilidad de ultra-alta potencia (petawatts); Láseres de Cascada Cuántica (QCLs); Láseres de Rayos X-UV extremo; Láseres de fibra óptica; Desarrollo de nuevas capacidades (CMC) de medida trazables a patrones nacionales; Láseres de Electrones Libres sintonizable. La incorporación de técnicas emergentes en microscopía y espectroscopía láser, para uso extendido de la comunidad científica y tecnológica. La ampliación de capacidades de detección de luz en rangos de iluminación ultra bajos con aplicación en metrología y comunicaciones. Asimismo, se promueve la ampliación de facilidades existentes para proveer nuevas herramientas en áreas vacantes y de valor estratégico.

4.3. FORMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS

Uno de los objetivos en la adquisición e instalación de equipos nuevos es que brinden apoyo a la comunidad científica y/o sector productivo en forma eficiente y sostenida. No es imaginable que los equipos queden subutilizados o al servicio de unos pocos. Para evitar estas situaciones es que este Plan considera prioritaria la formación de recursos humanos a todo nivel.

- Promover la formación de investigadores científicos y/o tecnológicos en el área, facilitando y recomendando el desarrollo de pasantías, y la movilidad de estudiantes avanzados, becarios doctorales, posdoctorales e investigadores jóvenes para su formación integral con investigadores de reconocida experiencia en el tema y con equipamiento idóneo, repartidos en distintos centros Nacionales e Internacionales.
- Promover la incorporación de investigadores científicos y/o tecnológicos formados (en el país o en el extranjero) en el área, a los diferentes organismos de CyT del país. Apoyar además la

movilidad/radicación de estos investigadores para cubrir las necesidades en todo el territorio nacional.

- Fortalecer la estructura de recursos humanos altamente capacitados como personal de apoyo calificado y remunerado en forma acorde, incorporando personal altamente capacitado en tareas específicas de manejo de equipos y desarrollo de técnicas experimentales y procesos. Para ello, es fundamental formar especialistas en el manejo y control de estos sistemas y proveer condiciones razonables para que este tipo de actividad resulte atractiva para un profesional altamente calificado. Hasta ahora, esta necesidad tiende a cubrirse con personal académico, estudiantes de posgrado e incluso estudiantes de grado de las instituciones que patrimonian los equipos.
- Organizar talleres específicos y prácticos sobre sistemas láser. Para ello se deberá insistir con las entidades financiadoras la utilidad de permitir la flexibilización de tipos de gastos permitidos por el instrumento "Formación de Recursos Humanos". Debido a que de esta forma se podrían realizar cursos y capacitaciones que incluyan prácticas experimentales.
- Organizar cursos introductorios y avanzados de capacitación en técnicas poco desarrolladas o inexistentes en el país.
- Realizar talleres para usuarios en las distintas áreas y en las distintas regiones del país.

Es importante que los instrumentos de financiación, sirvan para multiplicar las capacidades ya existentes y detalladas arriba, aprovechando el expertise que se ha generado en los últimos años y la gran cantidad de recursos humanos formados en el área, considerando la importancia de la distribución federal de equipamiento. Este objetivo se logra invirtiendo en estas áreas ya desarrolladas y fomentando activamente la realización de encuentros, escuelas y talleres hands-on, incluso con la participación de sectores de la industria.

4.4. DESARROLLO Y TRANSFERENCIA DE SISTEMAS LÁSER EMERGENTES

Fortalecer el sistema productivo, las cadenas de suministros, el sistema de investigación, desarrollo e innovación requieren de un plan agresivo de fortalecimiento y promoción de los Recursos Humanos. El impacto -por ejemplo- de la llamada cuarta revolución industrial, conocida como el paradigma Industria 4.0, requiere no solo de la formación en el manejo de equipamiento láser específico, sino poder transmitir las posibilidades que estos sistemas brindan, formar y formarse en nuevas técnicas, y/o aplicaciones nuevas.

El desarrollo de equipos propios tiene además la ventaja de promover la formación de investigadores y personal específico para la operación y mantenimiento de los equipos de modo de aprovechar al máximo los nuevos desarrollos tecnológicos y ampliar las prestaciones. Además se generan y actualizan capacidades locales, tanto técnicas como de recursos humanos, para la actualización de equipos y su mantenimiento, de forma tal de prolongar la vida útil y mejorar los equipos ya instalados.

Para apoyar el desarrollo y la transferencia de los diversos sistemas láser emergentes se propone:

- Brindar apoyo económico mediante la financiación parcial de proyectos de desarrollo de sistemas láser y/o técnicas emergentes de última generación. Esto implicaría flexibilizar el tipo de gastos elegibles en el rubro de Formación de RRHH.

- Articular la demanda de desarrollos tecnológicos en el área sistemas láser emergentes para satisfacer las necesidades de investigación y desarrollo en áreas de vacancia.
- Promover la innovación y evitar la obsolescencia de equipos instalados.

5. CONCLUSIONES

El presente plan tiene como objetivo contar con una red nacional de instrumentos, que permita:

- Optimizar el uso de recursos, abriendo la disponibilidad de servicios brindados por dichos equipos a la comunidad científica y tecnológica y a la sociedad en general,
- Organizar eficientemente la gestión de recursos disponibles a través de decisiones tomadas por un Consejo Asesor designado por las instituciones involucradas, que tengan en cuenta una visión general del Sistema
- Contribuir a la formación de recursos humanos de alta capacitación en técnicas, aplicaciones o conocimiento general de sistemas láser, que permitan optimizar el uso del equipamiento y expandir las posibilidades de su uso en distintas áreas de la ciencia y la tecnología.
- Promover mejoras y actualizaciones de los equipos adheridos al sistema, y brindar asesoramiento para incorporar equipos nuevos, accesorios, repuestos e insumos, en forma racional y consensuada.

Consideramos que el Sistema en esta etapa tiene un grado de madurez suficiente como para poder planificar el crecimiento y mantenimiento de la infraestructura nacional de equipos láser, así como para desarrollar capacidades propias que permitan optimizar recursos en el uso adecuado de la red. Para ello, es fundamental formar especialistas en el manejo y control de estos sistemas y proveer condiciones razonables para que este tipo de actividad resulte atractiva para un profesional altamente calificado. Hasta ahora, esta necesidad tiende a cubrirse con personal académico, estudiantes de posgrado e incluso estudiantes de grado de las instituciones que patrimonian los equipos. Se propone entonces capacitar RRHH para que sean capaces de mantener (y eventualmente desarrollar, partiendo de sub-sistemas OEM) sus propios equipos de laboratorio basados en sistemas láser. Para ello se deberá insistir con las entidades financiadoras la utilidad de permitir la flexibilización de tipos de gastos permitidos por el instrumento "Formación de Recursos Humanos", debido a que de esta forma se podrían realizar cursos y capacitaciones que incluyan prácticas experimentales. Esto implica tener la posibilidad de realizar TALLERES prácticos, que hasta el momento no han podido realizarse por la falta de flexibilidad de los instrumentos de financiación.

Por otro lado, SINALA debería bregar por un mayor compromiso presupuestario de las Instituciones Beneficiarias, que implique que la función principal del Sistema no sea el reemplazo de equipos o partes de equipos a fin de evitar su obsolescencia.

En este documento se han identificado áreas de vacancia que incluyen no sólo la apertura de nuevas líneas de trabajo, sino también la ampliación de capacidades en líneas preexistentes, que podrían generar un punto de inflexión para el desarrollo de nuevas aplicaciones a nivel local (tecnologías emergentes en nanofabricación, comunicaciones, procesamiento de la información, metrología, etc).

Finalmente se plantea la posibilidad de afianzar e incluso cristalizar los vínculos de la red de equipos de I+D en forma de planes de trabajo organizados entre distintas instituciones adheridas al Sistema, y que puedan eventualmente llevar a la creación de centros interinstitucionales en temas estratégicos, con enfoques multidisciplinarios y un uso óptimo de recursos.

LISTA DE ABREVIACIONES Y ACRÓNIMOS DE TÉCNICAS EXPERIMENTALES, NOMBRES INSTITUCIONALES, PROGRAMAS Y PROYECTOS

En *cursiva técnicas experimentales*, en **negrita** laboratorios, centros, instrumentos oficiales e instituciones.

AGGO	Observatorio Argentino Alemán de Geodesia, CONICET.
<i>ASOPS</i>	<i>Asynchronous Optical Sampling.</i>
<i>BIC</i>	<i>Bound states in the continuum.</i>
BIOMED	Instituto de Investigaciones Biomédicas, Universidad Católica Argentina - CONICET.
CAB	Centro Atómico Bariloche, Comisión Nacional de Energía Atómica.
CAC	Centro Atómico Constituyentes, Comisión Nacional de Energía Atómica.
<i>CARS</i>	<i>Coherent Anti-Stokes Raman Spectroscopy.</i>
CEQUINOR	Centro de Química Inorgánica, CONICET-Universidad Nacional de La Plata.
CIBION	Centro de Investigaciones en Bionanociencias, CONICET.
CICPBA	Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires.
CIOF	Centro de Investigaciones Ópticas, CONICET-CIC-UNLP .
CITEDEF	Instituto de Investigaciones Científicas y Técnicas para la Defensa, Ministerio de Defensa.
CITSE	Centro de Investigación y Transferencia de Santiago del Estero, CONICET - Universidad Nacional de Santiago del Estero.
<i>CMC</i>	<i>Calibration and Measurement Capabilities.</i>
<i>CMOS</i>	<i>Complementary Metal-Oxide Semiconductor.</i>
CNEA	Comisión Nacional de Energía Atómica.
CONAE	Comisión Nacional de Actividades Espaciales.
<i>DLIP</i>	<i>Direct Laser Interference Patterning.</i>
<i>EOR</i>	<i>Enhanced Oil Recovery.</i>
FCEFN	Facultad de Ciencias Exactas, Físico-Químicas y Naturales, Universidad Nacional de Río Cuarto.
FCEyN	Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires.
<i>FEL</i>	<i>Free Electron Laser.</i>
FI	Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires.
<i>FLIM</i>	<i>Fluorescence Lifetime Imaging Microscopy.</i>
FONARSEC	Fondo Argentino Sectorial.
FRD	Facultad Regional Delta, Universidad Tecnológica Nacional
ICYTE	Instituto de Investigaciones Científicas y Tecnológicas en Electrónica, CONICET-Universidad Nacional de Mar del Plata
IFIBA	Instituto de Física de Buenos Aires, CONICET- Universidad de Buenos Aires.
IFIR	Instituto de Física de Rosario, CONICET - Universidad Nacional de Rosario.
IFISUR	Instituto de Física del Sur, CONICET - Universidad Nacional del Sur.
INBIONATEC	Instituto de Bionanotecnología del NOA, CONICET - Universidad Nacional de Santiago del Estero.
INFIQC	Instituto de Investigaciones en Físicoquímica de Córdoba, CONICET - Universidad Nacional de Córdoba.
INFINOA	Instituto de Física del Noroeste Argentino, CONICET - Universidad Nacional de Tucumán.
INIFTA	Instituto de Investigaciones Físicoquímicas Teóricas y Aplicadas, CONICET - Universidad Nacional de La Plata.
INQUIMAE	Instituto de Química Física, de los Materiales, medio Ambiente y Energía, CONICET-Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires.
INTECIN	Instituto de Tecnologías y Ciencias de la Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires.

INTI	Instituto Nacional de Tecnología Industrial.
<i>IoT</i>	<i>Internet of Things.</i>
<i>LADAR</i>	<i>Laser Detection and Ranging.</i>
LALFI Ópticas	Laboratorio de Ablación Láser, Fotofísica e Imágenes 3D, Centro de Investigaciones de La Plata, CONICET-CIC-UNLP.
LAMAE	Laboratorio de Microscopia Aplicada a Estudios Moleculares y Celulares, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Entre Ríos.
LAMECO Ópticas de	Laboratorio de Metrología de Comunicaciones Ópticas, Centro de Investigaciones La Plata, CONICET-CIC-UNLP.
LASIE	Laboratorio Argentino de Separación Isotópica para Enriquecimiento de Uranio, Centro Atómico Bariloche, Comisión Nacional de Energía Atómica.
<i>LASiS</i>	<i>Laser Ablation Synthesis in Solution.</i>
LEC Exactas y	Laboratorio de Electrónica Cuántica, Departamento de Física, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Buenos Aires.
<i>LED</i>	<i>Light Emitting Diode.</i>
LFO Nacional de	Laboratorio de Fotónica y Optoelectrónica, Centro Atómico Bariloche, Comisión Energía Atómica.
<i>LIF-FAGE</i>	<i>Laser Induced Fluorescence-Fluorescence Assay by Gas Expansion</i>
LIAF Exactas y	Laboratorio de Iones y Átomos Fríos, Departamento de Física, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Buenos Aires.
<i>LIBS</i>	<i>Laser Induced Breakdown Spectroscopy.</i>
<i>LIDAR</i>	<i>Light Detection and Ranging.</i>
<i>LMD</i>	<i>Laser Metal Deposition.</i>
<i>MEMS</i>	<i>Microelectromechanical Systems.</i>
MINCyT	Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación.
<i>MOPA</i>	<i>Master Oscillator Power Amplifier.</i>
OAFA Naturales,	Observatorio Astronómico Félix Aguilar, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Universidad Nacional de San Juan.
<i>OCT</i>	<i>Optical Coherence Tomography.</i>
<i>OEM</i>	<i>Original Equipment Manufacturer.</i>
<i>OPA</i>	<i>Optical Parametric Amplifier.</i>
<i>OPO</i>	<i>Optical Parametric Oscillator.</i>
<i>PLA</i>	<i>Pulsed Laser Ablation.</i>
<i>PLD</i>	<i>Pulsed Laser Deposition.</i>
<i>PLP-LIF</i>	<i>Pulsed Laser Photolysis-Laser Induced Fluorescence</i>
PME Tecnología e	Proyectos de Modernización de Equipamiento, Agencia Nacional de Promoción de la Investigación, el Desarrollo Tecnológico y la Innovación, Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación.
<i>QCL</i>	<i>Quantum Cascade Laser.</i>
<i>QKD</i>	<i>Quantum Key Distribution.</i>
<i>RHEED</i>	<i>Reflection High Energy Electron Diffraction.</i>
SABIA-Mar	Satélite de Aplicaciones Basadas en la Información Ambiental del Mar.
<i>SFG</i>	<i>Sum Frequency Generation.</i>
<i>SHG</i>	<i>Second Harmonic Generation.</i>
SINALA	Sistema Nacional de Láseres, Programa de Grandes Instrumentos, Facilidades y Bases de Datos, Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación.
<i>SLM</i>	<i>Selective Laser Melting.</i>
<i>SLR</i>	<i>Satellite Lidar Ranging.</i>
<i>SLS</i>	Sinterización Láser Selectiva.
SNM Bases de	Sistema Nacional de Microscopía, Programa de Grandes Instrumentos, Facilidades y Datos, Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación.

<i>SPAG</i>	<i>Surface Percolation and Growth.</i>
<i>SPIM</i>	<i>Single Plane Illumination Microscopy.</i>
<i>STED</i>	<i>Stimulated Emission Depletion.</i>
<i>TEA</i>	<i>Transversely Excited Atmospheric.</i>
<i>TEM</i>	<i>Transmission Electron Microscopy.</i>
<i>ThERM</i>	<i>Thermal Expansion-Recovery Microscopy.</i>
<i>THG</i>	<i>Third Harmonic Generation.</i>
TICs	Tecnologías de la Información y la Comunicación.
<i>TPEF</i>	<i>Two-Photon Excitation Microscopy.</i>
UB	Universidad de Belgrano.
UBA	Universidad de Buenos Aires.
UCA	Universidad Católica Argentina.
UNC	Universidad Nacional de Córdoba.
UNER	Universidad Nacional de Entre Ríos.
UNLP	Universidad Nacional de La Plata.
UNMDP	Universidad Nacional de Mar del Plata
UNRC	Universidad Nacional de Río Cuarto.
UNS	Universidad Nacional del Sur.
UNSAM	Universidad Nacional de San Martín.
UNSE	Universidad Nacional de Santiago del Estero.
UNSJ	Universidad Nacional de San Juan.
UNT	Universidad Nacional de Tucumán.
UTN	Universidad Tecnológica Nacional.
UV	Ultravioleta.

ANEXO – RESUMEN DE SISTEMAS ADHERIDOS

La información recolectada corresponde a 20 centros adheridos donde se alojan 54 grandes equipos. Se muestra la distribución geográfica y por centros de los equipos del SINALA a mayo de 2022



Figura 1: Cantidad de equipos según localidad (ver Tabla 1)

Localidad	Cantidad de	Cantidad de equipos
-----------	-------------	---------------------

centros		
San Carlos de Bariloche (Río Negro)	1	5
La Plata (Buenos Aires)	3	10
San Martín/Va. Martelli (Buenos Aires)	3	5
Campana (Buenos Aires)	1	1
Córdoba (Córdoba)	2	11
Río Cuarto (Córdoba)	1	3
CABA	5	13
Rio Gallegos (Santa Cruz)	1	2
Rafaela (Santa Fé)	1	1
Santiago del Estero (Santiago del Estero)	1	1
San Miguel de Tucumán (Tucumán)	1	2
Total general	20	54

Tabla 1: Equipos adheridos al sistema SINALA por localidad

Nombre Centro	Localidad	cantidad de equipos adheridos
CAB - CNEA	San Carlos de Bariloche	5

CIOP	La Plata	6
CEQUINOR	La Plata	2
INIFTA	La Plata	2
INTI	San Martín	3
CAC - CNEA	San Martín	1
UNIDEF - CITEDEF	Villa Martelli	1
FRD - UTN	Campana	1
INTI - Centro Regional Córdoba	Córdoba	2
INFIQC	Córdoba	9
FCEFN	Río Cuarto	3
IFIBA	CABA	7
FI-UBA	CABA	4
INQUIMAE	CABA	2
UNIDEF - CITEDEF	Río Gallegos	2
INTI - Centro Regional Rafaela	Rafaela	1
INBIONATEC	Santiago del Estero	1
INFINOA	San Miguel de Tucumán	2

Tabla 2: Equipos adheridos al sistema SINALA por Institución