

Diseño de Materiales Avanzados con Aplicaciones en Tecnología y Salud

6.- PLAN DE TRABAJO

6.1. Objetivo general o marco de referencia

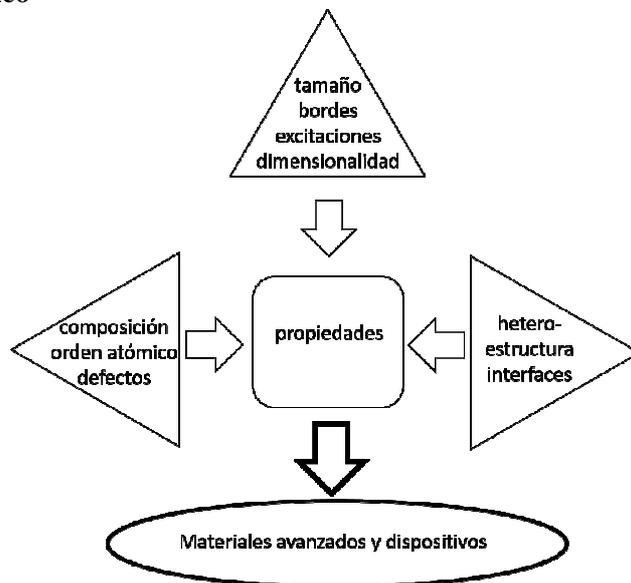
Antecedente inmediato: Investigadores que en los últimos años han desarrollado proyectos de excelencia dentro del ámbito multidisciplinario del IFLP, se asociaron para aunar intereses en una Idea Proyecto (IP) dirigida hacia aplicaciones de materiales simples y complejos. La IP condujo al presente proyecto, en el que participan grupos experimentales, teóricos y computacionales de la materia condensada y la mecánica estadística, y que a partir de esta iniciativa han iniciado trabajos conjuntos.

Objetivos generales:

Desarrollar un proyecto teórico-experimental a fin de mejorar la capacidad de la UE para obtener nano y microestructuras específicas, profundizar la comprensión de la influencia de la nanoescala, las interfaces, los defectos puntuales, las excitaciones topológicas y las interacciones entre nano-objetos, sobre las propiedades eléctricas, opto-electrónicas, magnéticas, de transporte y termodinámicas de materiales avanzados y contribuir, mediante un trabajo sinérgico, al diseño inteligente y original de materiales ensamblados y de proto-dispositivos con aplicaciones en farmacología, remediación del medioambiente, energía limpia y sustentable, magneto-electrónica y biomedicina.

Consolidar y ampliar la cooperación entre los grupos de investigación en materia condensada y mecánica estadística del IFLP; fortalecer, ampliar y diversificar las redes de colaboración en temáticas afines con otros centros de investigación locales y regionales.

Resumen gráfico



6.2. Objetivos específicos (máximo 60 palabras por cada objetivo específico):

Describir metas concretas a alcanzar dentro del marco del proyecto. Los objetivos reflejan un compromiso de resultados y productos relacionados al objetivo general. No describir actividades.

- Preparar sistemas primarios novedosos basados en óxidos simples o mixtos y fosfatos en forma de nano partículas, monocristales, polvos, coloides, mono y multicapas delgadas.
- Preparar materiales para la obtención limpia y almacenamiento eficiente de hidrógeno y su posterior uso como vector de energía para su aprovechamiento en celdas de combustible.
- Desarrollar materiales para las aplicaciones seleccionadas en el proyecto mediante la inclusión controlada de defectos en los sistemas primarios, por sustitución catiónica, aniónica o incorporación de vacancias e hidrógeno (H) en óxidos, con el fin de modificar sus propiedades

electrónicas, de transporte, eléctricas, magnéticas, termodinámicas y reológicas e inducir respuestas magnéticas emergentes.

- Síntetizar, analizar y funcionalizar materiales bio-orgánicos, bio-inorgánicos e híbridos, de aplicación en farmacología, medicina y medio ambiente, y cristales líquidos de interés por sus propiedades físicas y como patrón de diseño para materiales avanzados.
- Diversificar y optimizar los métodos de síntesis para la fabricación de materiales primarios haciendo hincapié en la modernización de las capacidades existentes. Perfeccionar, incorporar y desarrollar procesos de funcionalización para sus diferentes aplicaciones.
- Estudiar la correlación entre los órdenes de largo, medio y corto alcance y las propiedades físicas y químicas de los materiales en diferentes estados de agregación. Investigar las interacciones entre nano-fases en función de su distribución espacial micro y macroscópica (efecto de forma), y su efecto sobre las propiedades efectivas.
- Investigar la relación de las propiedades estructurales y electrónicas con las propiedades magnéticas y de transporte, a partir de primeros principios, simulación Montecarlo, dinámica molecular, y métodos variacionales y de campo medio generalizados basados en clusters, bosonizaciones e integrales de camino.
- Investigar las propiedades magnéticas a bajas temperaturas, determinando las diferentes fases, puntos críticos cuánticos y puntos de separabilidad, así como el entrelazamiento y las correlaciones cuánticas. Para aquellos materiales con características adecuadas, se examinará su aptitud para aplicaciones en el campo de la información cuántica o como sensores a nano escala.
- Optimizar el ensamblado de materiales primarios en matrices orgánicas, inorgánicas y biológicas, base de los dispositivos prototipo, priorizando la reproducibilidad de los procesos.
- Desarrollar modelos que permitan predecir las configuraciones que optimicen el rendimiento de los dispositivos según sus propiedades y su aplicación tecnológica: remediación de matrices ambientales contaminadas (entre otros por contaminantes provenientes de la industria del petróleo), espintrónica, magnetoelectrónica, celdas solares, provisión/almacenamiento de hidrógeno y biomedicina.
- Estudiar la síntesis, modelado, caracterización específica, y su relación con la estructura de defectos en semiconductores nanocristalinos mesoporosos con propiedades de conversión fotovoltaica destacables y bajo costo, para su uso en celdas solares híbridas. Avanzar en la elaboración de películas híbridas polímero-semiconductor.
- Prototipos patentables. Desarrollar y validar nanoformulaciones basadas en nanopartículas magnéticas multifuncionalizadas con un péptido y un fármaco químico anticancerígeno. Desarrollar un prototipo de celda solar basado en películas polímero-semiconductor. Desarrollar un reservorio de hidrógeno para instalaciones fijas basado en hidruros metálicos. Desarrollar un aplicador de radiofrecuencia para hipertermia localizada con nanopartículas magnéticas en pequeños animales.
- Contribuir a la formación de recursos humanos mediante la incorporación de alumnos de post grado.

6.3. Introducción, conocimientos existentes y resultados previos:

6.3.a) Introducción general al tema y estado del arte

Entre los mayores desafíos del mundo actual se destaca el desarrollo de nuevos materiales funcionalizados para el almacenamiento de información en nuevas generaciones de computadoras, la remediación de sitios contaminados; el desarrollo de terapias alternativas menos invasivas, o el reemplazo de los combustibles fósiles por fuentes de energía renovables, limpias y eficientes, entre otras aplicaciones.

Subsisten numerosos inconvenientes para que las soluciones planteadas se concreten, por lo que se invierten ingentes esfuerzos y recursos, a escala mundial, en pos de superarlos. Estos problemas tienen que ver con la fabricación y mejoramiento de nuevos materiales capaces de responder a necesidades específicas. El diseño controlado, enfocado en la optimización entre composición, estructura y propiedades físicas ha permitido en las últimas décadas notables progresos en el rendimiento de numerosos dispositivos de aplicación tecnológica.

Una de las claves en el diseño de materiales es la racionalización de la estructura cristalina y, por ende, de las propiedades fisicoquímicas en términos de las interacciones que operan entre átomos o moléculas, las que están vinculadas a las modificaciones de la topología de la densidad de carga electrónica, que puede determinarse experimentalmente o a partir de primeros principios.

Los óxidos de metales de transición (binarios y mixtos, puros y dopados) presentan una increíble variedad de comportamientos. Pueden ser aisladores, semiconductores, metálicos o exhibir fenómenos como ferroelectricidad, superparamagnetismo interactivo o superconductividad, dependiendo de la composición, tamaño, morfología y estructura. La extrema sensibilidad de las propiedades físicas a las distorsiones estructurales y a defectos ofrece nuevas alternativas de diseño avanzado. El estudio y comprensión de la influencia de la nano y microestructura, y de la introducción de defectos mediante dopado aniónico, catiónico, o con hidrógeno, sobre las propiedades de los materiales es fundamental para el control y la obtención de nuevas funciones. Por ejemplo, ciertos defectos puntuales presentan propiedades que juegan un rol central en el desarrollo de tecnologías cuánticas para sensores, comunicación y computación.¹ Otros fenómenos, derivados de excitaciones topológicas o skyrmiones, producen texturas magnéticas no triviales caracterizadas por interacciones fuertes, baja dimensionalidad y efectos cuánticos, con potencial aplicación en materiales antiferromagnéticos y superconductores, y en dispositivos donde predominen efectos de superficie². Otros sistemas donde pueden hallarse fases topológicas son los materiales que exhiben efecto Hall cuántico tales como los gases de electrones bidimensionales, por ejemplo, en materiales como el GaAs³. Tales sistemas también ocurren en gases bidimensionales de átomos fríos fermiónicos, por ejemplo, de Erblio, cargados en redes ópticas⁴.

El diseño de nuevos materiales o dispositivos con variadas funcionalidades involucra, en algunos casos, tratamientos con hidrógeno para la generación controlada de defectos. La química del hidrógeno en las matrices de óxidos es relativamente complicada pero al mismo tiempo promisoria para el desarrollo de materiales vinculados tanto a las energías limpias como a la industria electrónica. Los óxidos en forma de partículas, hilos y películas presentan propiedades diferentes de las del material macroscópico. Algunos ejemplos de propiedades modificadas por la superficie y la reducción de tamaño son las siguientes: (i) desorden, reconstrucción estructural, anisotropía, espines descompensados y reactividad incrementada; (ii) efectos derivados de la competencia entre sus dimensiones y longitudes cuánticas características; (iii) tamaños críticos para la estabilidad de estados metálicos, aisladores, o magnéticos; (iv) propiedades sintonizables a través del tamaño como frecuencia de transducción de energía electromagnética en calor o frecuencia de absorción plasmónica; y (v) efectos característicos de las interfaces como epitaxia y transferencia de carga, espín y materia, por mencionar algunas.

La inclusión de óxidos puros o modificados en matrices inorgánicas, orgánicas o biológicas permite explotar sus propiedades magnéticas, catalíticas, conductoras y sortivas. Recientemente, se ha propuesto el uso de arcillas para distribución inteligente de drogas dadas sus propiedades únicas como la bio-compatibilidad, solubilidad, adsorción y especificidad⁵. Su ensamblado en heteroestructuras multifuncionales basadas en óxidos es un paso necesario porque dichas estructuras suelen ser las plataformas para nuevos dispositivos electrónicos y sensores. Existen agentes quelantes capaces de neutralizar polipéptidos e impedir la formación de depósitos amiloideos en enfermedades neurodegenerativas como el Alzheimer⁶, complejos de coordinación luminiscentes, capaces de almacenar gases, que presentan magnetismo molecular y permiten funcionalizar fármacos⁷.

Biocerámicos de fosfatos de Ca con sustituciones iónicas pueden ser empleados en medicina como alternativa al auto-injerto o sustitutos de tejido óseo⁸ y en remediación de medio ambiente como captadores de metales pesados.⁹

Frecuentemente el desarrollo de nuevos dispositivos nano y microscópicos requiere de la integración de sensores con respuesta específica a un dado elemento o propiedad, como por ejemplo contaminantes, pH, o campos magnéticos localizados. Como ejemplo, sensores magnéticos miniaturizados con alta sensibilidad a campos pequeños requieren revertir su magnetización por el mecanismo de rotación uniforme, y por lo tanto emplean partículas monodominio con campo de inversión individual uniforme¹⁰. En biomedicina resulta deseable contar con sensores miniaturizados estables con respuesta rápida, alta sensibilidad y bajo consumo. Una de las opciones más frecuentemente consideradas es la de biosensores que registran el campo disperso de nanopartículas magnéticas dotadas de afinidad por analitos específicos¹¹, cuyo desarrollo requiere de la integración de varios de los objetivos del presente proyecto¹². Es relevante para el presente proyecto, no perder de

vista que las propiedades cuánticas de defectos puntuales individuales juegan un rol central en el desarrollo de tecnologías como la detección a nivel cuántico y las computadoras cuánticas. La detección a nivel cuántico ha devenido un área de investigación distintiva y rápidamente creciente, estando los qubits de espín y los iones atrapados entre sus plataformas de ensayo más promisorias¹³.

Por otro lado, la industrialización conlleva la aparición de contaminantes en el ambiente que rara vez se encuentran aislados. Como consecuencia se requieren nuevas tecnologías capaces de monitorear, reconocer y separar pequeñas cantidades de contaminantes presentes en matrices ambientales (agua, aire y suelo). En este aspecto la nanotecnología ofrece un gran potencial, en particular cuando se combinan las propiedades de las nanopartículas con su funcionalización en matrices orgánicas, biológicas o inorgánicas. Entre algunos de los materiales propuestos se encuentran los basados en óxidos y óxidos dopados¹⁴ y las arcillas, objeto de estudio del proyecto de investigación.

El desarrollo de sistemas integrados para energías alternativas involucra el diseño de materiales aptos para la tecnología de celdas de combustibles tales como soportes, electrodos, electrolitos, integrados en heteroestructuras de dimensiones nanométricas, y de sistemas capaces de producir y almacenar hidrógeno. Equipos de mayor tamaño también son necesarios o atractivos a fin de implementar aplicaciones basadas en las propiedades nanométricas de los materiales. Por ejemplo, los hidruros metálicos nano-estructurados jugarán un rol crucial como reservorios¹⁵ y purificadores de hidrógeno, y aplicadores portátiles de campos de radiofrecuencia, necesarios para aprovechar la capacidad de las nanopartículas magnéticas de transducir potencia electromagnética en calor para estudios *in vivo* de la terapia oncológica por hipertermia magnética.

La estrategia que se empleará en el desarrollo del proyecto es superadora dentro del ámbito del IFLP ya que implica el trabajo sinérgico entre grupos que provienen de la materia condensada teórica y experimental y de la mecánica estadística teórica y computacional. La combinación de sus capacidades para diseñar y comprender materiales novedales constituirá una sólida base para desarrollar una red local de estudio sobre nuevos materiales en todas sus etapas, desde el conocimiento básico hasta su transferencia al medio productivo.

Los problemas que se abordarán en el desarrollo del proyecto se encuadran dentro del Plan Argentina Innovadora 2020 (PAI-2020) en las áreas Ambiente y Desarrollo Sustentable, Energía y Salud.

6.3.b) Principales contribuciones de otros al problema o interrogante.

Las propiedades de los materiales pueden originarse en defectos y excitaciones topológicas, como las cuasipartículas denominadas skyrmiones. Éstas resultan de gran interés para el desarrollo de comportamientos magnéticos y conductores noveles, ya que bajo ciertas condiciones forman una red triangular¹⁶ la cual deviene el estado fundamental de un sistema de espines frustrados, y también por el hecho de que el apareamiento de los portadores mediado por la interacción electrón-skyrmion abre la posibilidad a mecanismos de superconductividad no convencionales^{17,18}. Entre los sistemas que exhiben fases topológicas, son de alta relevancia los superconductores topológicos de onda p, en los que se espera encontrar fermiones de Majorana¹⁹. Tales excitaciones figuran entre los candidatos más promisorios mediante los cuales sería posible almacenar y procesar información cuántica.

Óxidos semiconductores dopados con impurezas, defectos puntuales, o con topología superficial, presentan propiedades muy interesantes para aplicaciones tecnológicas. El efecto de relajaciones estructurales introducidas por impurezas diluidas en Al₂O₃ sobre las propiedades electrónicas inducidas ha sido explorado en investigaciones *ab initio* para hallar potenciales candidatos para dispositivos de emisión óptica²⁰. La implantación iónica de impurezas fue utilizada para mejorar propiedades que mejoren sus aplicaciones en óptica, fotónica, diseño de herramientas y dispositivos optoelectrónicos. La presencia de impurezas aceptoras o donoras fue esencial para sintonizar la promoción de picos luminiscentes termo-estimulados en sensores de radiación γ , x y UV para fines dosimétricos²¹.

Técnicas experimentales hiperfinas aplicadas al campo de la física del estado sólido²² (y también a sistemas biológicos²³) permiten caracterizar el entorno sub-nanoscópico de átomos-sonda en el sistema estudiado, brindando información local sobre estructuras cristalinas²⁴, especies altamente dispersas²⁵, fases coexistentes, defectos²⁶, superficies e interfaces²⁷, mecanismos de intercambio de carga,

transiciones de fase en función de la temperatura, población de sitios inequivalentes, interacciones magnéticas, difusión a escala atómica, y nanoestructuras²⁸.

Cálculos de primeros principios aplicados a sistemas con impurezas *diluidas* han permitido predecir propiedades estructurales, electrónicas, magnéticas e hiperfinas con gran exactitud y precisión^{27,29}, convirtiéndose en el estado del arte para el estudio de óxidos *diluidos*. El estudio combinado experimental-*ab initio* de ciertos observables determinados con gran precisión permite validar las predicciones de aquellas propiedades para la modelización y diseño de nuevos materiales con aplicaciones tecnológicas. La posibilidad de predecir, comprender y complementar los experimentos, permitiendo extraer toda la información que estos contienen, ha hecho de los métodos de primeros principios una herramienta fundamental para el estudio de materiales. En la actualidad se publican más de 15000 artículos por año en esta temática.^{30,31}

Los oxinitruros de perovskitas presentan gran capacidad para la absorción de luz visible, actividad foto-catalítica, magneto-resistencia colosal y alta constante dieléctrica^{32,33,34}. Por sus características han sido mencionados como materiales potenciales para la fabricación de celdas foto-electroquímicas³⁵. Investigaciones recientes proponen que las propiedades dieléctricas de estos materiales están relacionadas con el arreglo de aniones^{36,37}. Adicionalmente, el crecimiento epitaxial bajo esfuerzos compresivos produce en estos materiales la aparición de propiedades como la ferroelectricidad.³⁸

Entre los óxidos conductores transparentes (TCO) para celdas solares se han utilizado los semiconductores II-V (ZnO, ZnTe) y otros como el TiO₂, debido a su alta transparencia en el rango visible, baja resistividad, gran estabilidad, no-toxicidad y su bajo costo³⁹. En los últimos años estudios de la estructura multicapa TCO/Metal/TCO, que optimizan sus propiedades opto-electrónicas, han probado la potencialidad de este sistema como una alternativa para reemplazar a las convencionales películas delgadas de TCO⁴⁰ depositándolas a temperatura ambiente para disminuir los costos de producción y permitir el uso de sustratos poliméricos⁴, fundamentales para dispositivos electrónicos flexibles^{41,42}. Recientes avances han contribuido al desarrollo de celdas solares constituidas por nuevos materiales, tales como los dispositivos basados en la combinación de un semiconductor de gap ancho y un colorante orgánico (dye-sensitized solar cells, DSSC); puntos cuánticos (quantum dots sensitized solar cells); heterojunturas híbridas orgánico-inorgánico; películas delgadas (Si and Cu(In,Ga)Se₂ (CIGS)); celdas fotoelectroquímicas (PEC); etc⁴³. Estos estudios apuntan a mejorar la eficiencia de los dispositivos, incrementando la densidad de portadores, objetivo que puede lograrse por dopaje, generando niveles donores y/o aceptores en la banda prohibida, o incrementando la superficie de contacto de la unión p-n mediante el crecimiento de nanoestructuras.^{29,33}

En heteroestructuras de óxidos complejos ha sido importante el esclarecimiento de como la diferencia de densidad electrónica en cada capa causa interdifusión atómica entre las mismas, induciendo la formación de nuevas fases electrónicas. Algunos ejemplos son la existencia de interfaces metálicas con orden magnético específico en estructuras de manganitas⁴⁴, los estados superconductores observados en el sistema LaAlO₃/SrTiO₃^{45,46}, y la aparición de orden magnético en la interfaz entre dos óxidos no magnéticos⁴⁷. Quiebres de simetría, transferencia de carga, acoplamiento electrostático, tensiones y frustración dan lugar a fascinantes fenómenos observados o predichos en la interface entre óxidos complejos y aún dentro de materiales simples. Ferromagnetismo y conductividad en multicapas de materiales aislantes antiferromagnéticos, superconductividad en la interface entre dos dieléctricos y aumento de la temperatura crítica en heteroestructuras de superconductores son algunos de los ejemplos donde las interfaces juegan un rol crucial⁴⁸. La competencia entre diferentes interacciones en la interface puede originar fenómenos como, ferro, ferrimagnetismo o frustración^{49,50}.

Las nanopartículas bicomponentes que combinan diferentes fases magnéticas, atraen cada vez una mayor atención para lograr materiales con propiedades novedosas que sean capaces de retener o mejorar las propiedades y funcionalidades de sus contrapartes individuales. En estos sistemas la interacción de intercambio proporciona un grado extra de libertad haciéndolas más atractivas que las nanopartículas monomagnéticas y la comprensión de su respuesta magnética estática y dinámica y cómo la misma está determinada por la estructura interna del sistema es aún hoy un desafío.^{51,52,53}

Para la aplicación de los sistemas bio-orgánicos, la bio-disponibilidad y las propiedades de transporte son muy importantes. Su optimización es crucial habiéndose ensayado diversas estrategias basadas en la obtención de polimorfos, solvatos, hidratos, sales y co-cristales.⁵⁴ Un ejemplo es el anti-chagásico

pediátrico beznidazol (BZN), que presenta problemas de solubilidad en agua impidiendo su formulación en jarabe con el consiguiente problema de dosificación.^{55, 56}

Ejemplos donde la relación entre estructura y propiedad son de gran relevancia lo constituyen los cristales líquidos, los cuales presentan anisotropías en la migración de carga, transporte de energía o índice de refracción (birrefringencia usada para identificación de fase LC y para monitores), que dependen de la estructura molecular. Persiste gran controversia sobre la validez de los modelos actuales debido a numerosos ejemplos cuyas moléculas se apartan de la estructura molecular arquetípica⁵⁷.

Entre los sistemas más atractivos para la remediación ambiental se cuentan las arcillas nanoestructuradas y entre estas la montmorillonita (MMT) y las MMT modificadas. Las modificaciones producidas en las arcillas naturales cambian su carga eléctrica superficial haciéndolas aptas para la captación de contaminantes tales como metales pesados y agroquímicos^{58,59,60}. La posibilidad de incluir en las MMT nanopartículas superparamagnética de hierro capaces de realizar procesos avanzados de catálisis (procesos redox), y de recuperarlas luego de las matrices tratadas, conjuga en las MMT un sistema de gran potencialidad para la captura de contaminantes del medioambiente.^{61,62,63,64}

En relación a dispositivos para energía limpia, especialmente reservorios para hidrógeno, un esfuerzo considerable que puede destacarse es el que se ha realizado para optimizar las propiedades de carga y descarga de este elemento, hacia y desde matrices de hidruros metálicos, respectivamente, mediante la modificación de su microestructura a escala nanométrica, agregando catalizadores para mejorar la cinética e incluyendo compuestos adecuados para desestabilizarlos⁶⁵.

Las nanopartículas, geles y coloides magnéticos han probado su aplicabilidad en diagnóstico y terapia, encontrando uso en imágenes por resonancia, hipertermia magnética (HM) y entrega de drogas estimulada con campos. Se ha demostrado que las células cancerígenas son más sensibles que las sanas a la HM y que el nanomaterial dota de selectividad a la terapia.

6.3.c) Principales contribuciones al tema por parte del grupo del proyecto.

En los últimos años se han investigado propiedades magnéticas de sistemas de spin que encuentran variedad de realizaciones experimentales⁶⁶. Recientemente se ha encontrado⁶⁷ mediante simulaciones numéricas, una región de parámetros que ordenan a una red triangular de spines en una textura formada por tres redes de skyrmiones interpenetradas, ofreciendo un escenario realista para investigar el dopaje electrónico y posibles mecanismos de apareamiento superconductor.

Se ha estudiado el transporte de calor a lo largo de un estado de borde de un gas de electrones bidimensionales en el régimen de Hall cuántico, en contacto con dos reservorios a diferente temperatura³. También se ha estudiado otra forma de entender situaciones fuera del equilibrio en gases de Fermi en dos dimensiones, como la que resulta de encender súbitamente interacciones de largo alcance entre los fermiones, lo cual resulta posible para un gas dipolar de átomos de erbio cargado en una red óptica⁴.

Por otra parte, se han desarrollado e investigado métodos variacionales y aproximaciones de campo medio generalizado basados en clusters⁶⁸, bosonizaciones⁶⁹ e integrales de camino⁷⁰ que brindan resultados muy satisfactorios para evaluar las correlaciones y el entrelazamiento cuántico en sistemas de espines interactuantes⁷¹ y que serán de utilidad para analizar los nuevos materiales.

Asimismo, se han estudiado en detalle las transiciones de fase, y puntos de separabilidad en sistemas de espines interactuantes, inmersos en campos magnéticos generales⁷², y el alcance de las correlaciones cuánticas en su vecindad⁷², mediante distintas medidas de correlaciones cuánticas⁷³. Este enfoque será empleando para analizar el comportamiento y las propiedades magnéticas de los nuevos materiales y su aplicabilidad en el campo de la información cuántica.

La aplicación de las distintas técnicas de preparación de muestras y dopaje de éstas, mencionadas en los objetivos específicos, a saber: mecano-síntesis⁷⁴, implantación iónica⁷⁵, coprecipitación⁷⁶, difusión⁷⁷ y sol-gel⁷⁸, condujeron al dopaje exitoso de impurezas In/Cd y Hf/Ta, aceptoras o donoras, en óxidos binarios semiconductores y aisladores en sitios sustitucionales de catión, libres de defectos estructurales, posibilitando así una determinación “limpia” de observables, como el gradiente de campo eléctrico (GCE).

En 2002, se realizaron las primeras predicciones *ab initio* de la literatura del GCE en un sitio de la impureza Cd en el óxido TiO₂, a partir de cálculos de estructura electrónica y de relajaciones estructurales autoconsistentes, sentando las bases de cómo tratar una impureza en un óxido a partir de primeros principios en el marco de la Teoría de la Funcional Densidad (DFT)⁷⁹. Estos estudios posibilitaron el desarrollo de cálculos confiables para el estudio del magnetismo de los sistemas semiconductores magnéticos diluidos (DMS)⁸⁰. Entre las principales contribuciones al estudio de los semiconductores diluidos^{79,81,82,83,84,85,86} se destacan el descubrimiento de relajaciones anisotrópicas en función del radio iónico relativo impureza-cación huésped; la determinación de niveles electrónicos simple y doble aceptores o donores en el gap del semiconductor debido a la presencia de la impureza; la determinación de la localización de impurezas y su estado de carga; el origen de las distintas contribuciones electrónicas (“orbitales”) al GCE; las asignaciones hiperfinas definitivas a sitios cristalinos del óxido en sistemas controversiales; y la excelente descripción del GCE en sitios de la impureza Cd en la serie de óxidos con electrones *4f* fuertemente correlacionados.

Se han realizado importantes aportes al tratamiento de dopantes e impurezas en óxidos modelando matrices inorgánicas dopadas con la utilización de cálculos *ab-initio* en el formalismo de la DFT. La utilización de diversas técnicas experimentales combinada con cálculos DFT ha permitido identificar que las impurezas aliovalentes, en caso de tener electrones desapareados pueden dar lugar a momentos magnéticos no nulos en el sitio de la misma^{87,88}. Los efectos del dopaje, tanto catiónico como aniónico, en las propiedades macroscópicas de los óxidos dopados ha sido estudiado con gran éxito para el caso de ZrO₂. Esta experiencia puede ser de gran utilidad para comprender como el dopado aliovalente en óxidos influencia el esquema de defectos en los materiales alterando sus propiedades estructurales y de transporte.^{89,90,91}

En los últimos 15 años se ha investigado la fabricación de óxidos en forma de películas delgadas por pulverización catódica y ablación láser, y en forma de polvos por mecano-síntesis y métodos cerámicos, entre otras técnicas. También se ha adquirido una vasta experiencia en técnicas de caracterización estructural y magnética, en particular algunas basadas en el uso de luz sincrotrón, como absorción y fluorescencia de rayos-X, y dicroísmo circular magnético. Uno de los principales aportes científicos que merece destacarse es el estudio de óxidos semiconductores magnéticos (O-DMS). El grupo publicó uno de los primeros trabajos que reportan ferromagnetismo en sistemas puros⁹². Se ha trabajado con gran éxito en el estudio del rol de los defectos en las propiedades magnéticas de ferritas de Zn y sistemas basados en TiO₂, SnO₂, ZnO, puros y dopados con metales de transición. Se encontró que es posible obtener ferritas aisladoras y ferromagnéticas a temperatura ambiente mediante deposición de películas a baja presión de oxígeno. Este resultado es importante, en vista de obtener materiales con aplicación a válvulas de espín, donde se busca inyectores que no sean conductores. Se demostró que el mecanismo que da lugar al ferromagnetismo no es el usual para estos sistemas, es decir la inversión de cationes, sino que hay acoplamiento ferromagnético entre iones de hierro ubicados en sitios octaedrales mediado por vacancias de oxígeno⁹³.

También parte del grupo ha obtenido semiconductores nanoestructurados aplicando molienda mecánica y/o electrodeposición permitiendo caracterizar el esquema de defectos producido por dopaje o molienda^{94,95,96,97,98}. A partir de la experiencia adquirida, ha sido posible implementar un equipo de electrodeposición que consiguió crecer nanocolumnas de ZnO con buenas propiedades ópticas⁹⁹.

Se han desarrollado y validado para uso biomédico diversas nanoformulaciones basadas en nanopartículas magnéticas de óxido de hierro funcionalizadas con diversos recubrimientos¹⁰⁰⁻¹⁰¹⁻¹⁰²⁻¹⁰³ para la aplicación específica de la hipertermia magnética. La validación se ha llevado a cabo mediante la incorporación de las partículas en modelos celulares¹⁰⁴; actualmente se trabaja para su validación en modelos in vivo, habiéndose desarrollado una primera versión de un aplicador de campos portátil para pequeños animales, cultivos celulares y suspensiones. Este dispositivo está en proceso de patentamiento por parte del Instituto Nacional de la Producción Intelectual (INPI)¹⁰⁵ y fue distinguido con mención de honor durante la entrega del premio a la Innovación Científica de la UNLP, edición 2016¹⁰⁶. Estos son los primeros experimentos con nanoactuadores para hipertermia magnética in vivo realizados en Argentina. El grupo ha avanzado en el modelado semiempírico de la respuesta de estos sistemas a campos magnéticos alternos con criterios predictivos para su uso biomédico^{107,108}. Se ha conseguido dar una descripción verificable de la modificación de la respuesta magnética de un conjunto de nanopartículas magnéticas, ocasionada por las interacciones entre ellas, usando el concepto de un campo medio dipolar e introduciendo un tensor desmagnetizante efectivo, que tiene en

cuenta los detalles de la distribución espacial de partículas¹⁰⁹. Esta herramienta es de suma importancia porque en casi todas las aplicaciones biomédicas las nanopartículas magnéticas tienden a agregarse en endosomas y otras estructuras, lo cual modifica dramáticamente su respuesta.

En el área de los materiales bio-orgánicos y bio-inorgánicos con interés en medicina se ha aportado información estructural de Sulfonamidas, Bases de Schiff, Acesulfamatos, complejos del anti-depresivo *sertralina* con Zn y Cu y fármacos orgánicos naturales y sintéticos. Esta información contribuye a profundizar la comprensión acerca de las propiedades biológicas y es clave para diseñar nuevos fármacos. Estos estudios han dado lugar a numerosas publicaciones y a una patente¹¹⁰.

Se han empleado distintas condiciones de síntesis de fosfatos de Ca sustituidos con Zn y Ni y estudiado sus estructuras y estabilidad térmica, los resultados son promisorios para la obtención de distintas fases y estados de agregación del material y han permitido proponer un posible camino para la formación de mineralizaciones patológicas¹¹¹

En el área de los cristales líquidos se ha desarrollado una nueva metodología de uso combinado de difracción de rayos-X en mono y poli-cristales para obtener información sobre la organización supra-molecular en su fase líquida¹¹².

Otro aporte se orientó a la investigación de la síntesis y propiedades de diversos hidruros metálicos basados en magnesio y metales de transición. El método de síntesis mecánica en atmósfera de hidrógeno se ha revelado prometedor para los fines buscados¹¹³, la obtención de materiales nanométricos¹¹⁴ y el dopaje de semiconductores, logrando con éxito la sustitución catiónica^{115,116}.

6.3.d) Resultados preliminares.

Se llevó a cabo la construcción explícita¹¹⁷ de una teoría efectiva de bajas energías para una red triangular de spines con interacciones de intercambio antiferromagnéticas y de Dzyaloshinskii-Moriya, que en presencia de un campo magnético externo reproduce una fase skyrmiónica antiferromagnética descrita en la literatura⁶⁷.

La combinación de las capacidades experimentales disponibles y el modelado usando DFT han sido empleados con éxito para el caso de la sorción de Co en MMT, probando que un enfoque teórico combinado de problemas tan complejo como éste no sólo es posible, sino que sin duda contribuye a un mejor entendimiento de los procesos involucrados.¹¹⁸ Se han preparado con éxito MMT con incorporación de fases magnéticas de hierro, útiles para su recuperación del medio.

Se extendió el estudio *ab initio* de propiedades estructurales, electrónicas e hiperfinas, descrito antes para óxidos *bulk*, a sistemas de baja dimensionalidad, comenzando con la reconstrucción y estudio de superficies puras y dopadas¹¹⁹. En Al₂O₃ dopado con Cd se predijo un comportamiento magnético cuando el Cd está alojado por encima y debajo de la superficie. El GCE predicho en superficie es 4 veces más intenso que en *bulk*. Las propiedades hiperfinas en función del alejamiento de la impureza desde la superficie son explicadas en función del cambio de la densidad electrónica de carga en torno al Cd. Este observable se revela promisorio para el estudio de la adsorción y difusión de átomos en superficies.

Determinaciones recientes¹²⁰ muy exactas y precisas de momentos cuadrupolares nucleares, utilizando un doble abordaje experimental-*ab initio*, serán esenciales para poder obtener el GCE experimental a partir de frecuencias cuadrupolares y poder predecir, a partir de su comparación con cálculos *ab initio*, propiedades estructurales y electrónicas en los óxidos dopados con estas impurezas.

Se ha adquirido amplia experiencia en métodos de preparación de nanoestructuras (molienda mecánica^{115,116}, electrodeposición¹²¹) lo que ha permitido controlar e identificar los parámetros importantes del proceso de fabricación de una gran variedad de materiales, pudiéndose optimizar las propiedades estructurales, ópticas y magnéticas para las aplicaciones a la que estará destinado el material.

Se han depositado por sputtering multicapas de TiO₂/Metal (Cu, Co, Ag)/TiO₂ sobre diferentes sustratos: vidrio, PC (policarbonato), PET (Polyethylene terephthalate)¹²² y se han caracterizado sus propiedades estructurales y ópticas.

En el caso de la síntesis y ensamblado de nanopartículas para aplicaciones biomédicas, se están desarrollando materiales con anisotropía y momento magnético incrementados, para optimizar el rendimiento y disminuir las dosis. Se han comenzado a preparar nuevas formulaciones

multifuncionalizadas con un péptido de reconocimiento del objetivo y un fármaco químico de liberación controlada¹²³ mediante excitación externa.

Se ha extendido el modelo de un tensor desmagnetizante efectivo a arreglos ordenados de nano-objetos fuera del equilibrio termodinámico, con el cual fue posible obtener el tensor de susceptibilidad extrínseca del sistema y recuperar el tensor de susceptibilidad intrínseca de los nano-objetos¹²⁴. Ello será de utilidad para evaluar nano-arreglos magnéticos para dispositivos.

Se diseñó y construyó un prototipo de aplicador de campo electromagnético, portable, para experimentos de hipertermia magnética, cuya patente nro. 16078997 se encuentra en trámite.

6.4. Actividades, cronogramas y metodología (máximo 4 carillas):

- **Actividades: para cada objetivo específico describir las actividades a desarrollar.**

Es altamente recomendable explicar el desarrollo secuencial o paralelo de actividades y su interdependencia mediante diagramas y cronogramas.

La primera fase del proyecto implica fabricar los materiales seleccionando, escoger el método de síntesis ya sea químico (co-precipitación, sol-gel, electrodeposición, etc.) o físico (mecano-síntesis, depósito luego de pulverización iónica o con láser pulsado, etc.), según las propiedades buscadas.

En el proceso de fabricación de los materiales se explorará la relación entre sus características composicionales, estructurales (como dimensionalidad, distribución y grado de agregación de nanofases), y sus propiedades físicas.

Los materiales serán descritos en base a modelos *ad hoc*, cálculos *ab-initio*, dinámica molecular y simulaciones Montecarlo a los efectos de descubrir los principales factores que determinen sus propiedades.

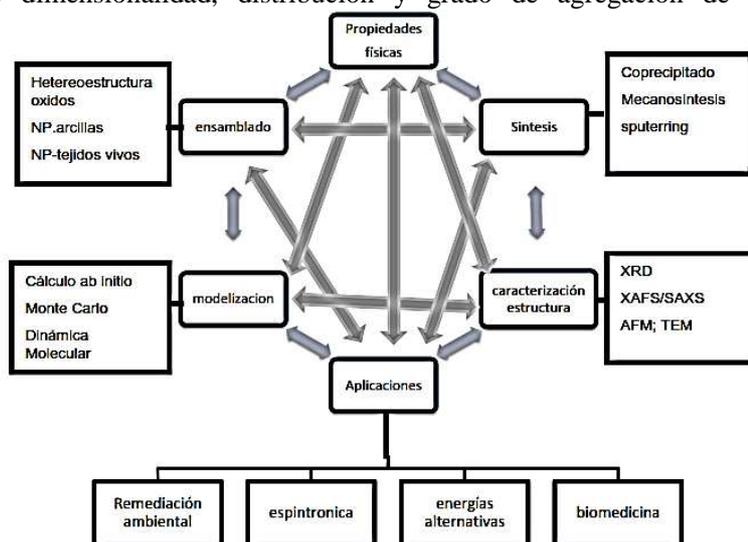
Al promediar el proyecto se logrará información sistematizada de la relación entre tamaño característico, estructura, defectos y propiedades físicas y de su potencial optimización para una dada aplicación tecnológica. La optimización de los materiales se logrará mediante un proceso retro-alimentado de experimentación y modelización.

Una etapa posterior involucrará la inclusión de los materiales primarios en matrices orgánicas, inorgánicas y biológicas para formar composites, el ensamblado en heteroestructuras, para su uso en aplicaciones específicas, y el desarrollo de sensores para analitos o contaminantes específicos.

El flujo de interacción entre las diferentes actividades que serán desarrolladas durante el proyecto puede verse resumido en el gráfico de la derecha.

Otra actividad estará enfocada al desarrollo de un reservorio de hidrógeno fijo y un aplicador portátil de campo de radiofrecuencia.

Entre las actividades previstas se planea realizar dos *workshops* con la participación de especialistas destacados del ámbito nacional e internacional, para discutir el grado de avance del proyecto y las posibles modificaciones a realizar en el plan de tareas a fin de alcanzar los objetivos perseguidos. Se realizarán talleres con periodicidad de entre uno o dos meses, internos a la UE, con el fin de compartir los avances del proyecto y establecer un foro para la discusión de resultados y para la evaluación y optimización de las actividades.



• **cronograma general de actividades.**

Tarea	1 ^{er} año	2 ^{do} año	3 ^{er} año	4 ^{to} año	5 ^{to} año
Fabricación de materiales					
Caracterización estructural sistemas primarios y ensamblados					
Modelización sistemas primarios y ensamblados					
Estudios de parámetros relevantes para cada aplicación específica de los conjuntos de materiales					
Conclusiones, análisis de aplicabilidad ensayos de transferencia al medio					
Desarrollo de materiales integrados y sensores para metabolitos y contaminantes específicos.					

• **En el caso de trabajos donde la recopilación de datos o el resultado de experiencias validen las hipótesis planteadas, considerar todos los resultados posibles, aún los no concordantes con la hipótesis inicial planteada. En este último caso evaluar el posible replanteo de hipótesis o explicaciones a lo largo del proyecto.**

• **Describir para las muestras o piezas, así como para la información impresa, sonora o visual o series de datos, los métodos para su registro, procesamiento, preservación y archivo o guarda.** De ser aprobado el proyecto se deberá presentar para el mismo un Plan de Gestión de Datos, en el marco del cumplimiento de la Ley 26.899, reglamentada por Resolución del MINCYT 753 – E/2016.

No aplica.

6.5. Resultados esperados:

- Profundizar el conocimiento de la relación entre nanoescala, estructura, interfaces y defectos puntuales, y propiedades, enfocándose en aquellas que emergen del tamaño, discontinuidad e inhomogeneidad, como interdifusión de carga, espín y materia, magnetismo de superficie, superparamagnetismo interactivo, reactividad aumentada, desarrollando conocimiento aplicable a procesos de computación y sensado cuánticos. Lograr avances en el conocimiento y control de propiedades magnéticas de la materia a bajas temperaturas y su aptitud para aplicaciones en el campo de la información cuántica.
- Obtener materiales de escala nanométrica, partículas, coloides, polvos y películas con propiedades optimizadas para aplicaciones biomédicas, de remediación ambiental, almacenamiento de hidrógeno, conversión fotovoltaica y espintrónica.
- Avanzar en el ensamblado de óxidos primarios, simples y complejos, con propiedades optimizadas, formar heteroestructuras que combinen propiedades específicas, y fabricar protodispositivos sensores de especies químicas contaminantes y metabolitos, para su aplicación en remediación ambiental y salud.
- Realizar aportes tecnológicos en forma de dispositivos que permitan aprovechar los materiales nanométricos desarrollados en el proyecto, como reservorios de hidrógeno para instalaciones fijas

y aplicadores de campo portátiles para estudios de la terapia oncológica por hipertermia magnética.

La integración de conocimientos y tareas es en sí misma un resultado esperado, que podría reformularse como “aprovechar el crecimiento de proyectos de excelencia surgidos del ámbito multidisciplinario del IFLP, para un emprendimiento conjunto de calidad dirigido hacia las aplicaciones de materiales simples y complejos”. La presente convocatoria ha catalizado la sinergia preexistente, conduciendo a un proyecto ambicioso con participación de grupos experimentales, teóricos y computacionales de la materia condensada y la mecánica estadística. Las dificultades para integrar ese mosaico multidisciplinario, fueron superadas por los aportes distintivos, lo que nos lleva a reflexionar que un resultado necesario será avanzar por este camino sin dejar de alentar la actividad multi-temática.

Se contribuirá a la formación de recursos humanos y al conocimiento general a través de publicaciones y patentes.

6.6. Difusión de los resultados:

Los resultados obtenidos, en lo referente al conocimiento científico, serán comunicados en congresos específicos y publicados en revistas internacionales de alto impacto.

Así mismo, se programarán eventos en instancias intermedias y a la finalización del proyecto, como jornadas y talleres internos y con otros centros de investigación, instituciones, entidades administrativas e industrias, a fin de facilitar el intercambio de opiniones y la valoración del conocimiento generado por el proyecto, por parte de colegas y de la sociedad, y para contribuir a concretar su transferencia.

6.7. Protección de los resultados:

Gran parte de la producción del proyecto será difundida libremente mediante publicaciones de alto impacto, presentaciones en congresos, workshops, asesoramiento y servicio a externos, y actividades de divulgación.

Se planea generar también conocimiento tecnológico que se protegerá mediante su patentamiento.

6.8. Actividades de transferencia:

Se ha producido un generador experimental de campo magnético de radiofrecuencia que se utiliza en experimentos in vivo en la Facultad de Veterinaria de la UBA¹²⁵ y hemos concitado el interés de algunas empresas e instituciones¹²⁶ con las que se continuará en contacto a medida que se perfeccione la invención.

7.- VIABILIDAD Y FACTIBILIDAD TÉCNICA:

El grupo cuenta con oficinas para los investigadores y becarios, laboratorios especializados y aulas en el Departamento de Física de la Facultad de Ciencias Exactas de la UNLP, donde funciona actualmente el IFLP y otros edificios de la Facultad de Ciencias Exactas de la UNLP. Se cuenta con la biblioteca y hemeroteca del Departamento de Física, así como la biblioteca electrónica de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica. Dispone además con todas las instalaciones del nuevo edificio del IFLP al cual comenzará a mudarse durante el presente año de 2017.

El IFLP tiene laboratorios de mecanosíntesis, síntesis química, síntesis por pulverización iónica y depósito, electrodeposición, cámara de atmósfera controlada, compactador de polvos, hornos, aplicadores de vacío. Posee también las siguientes técnicas analíticas: difracción de rayos x en polvo y monocristales, con ánodo de Cu y Mo, espectroscopía de correlaciones angulares perturbadas sobre ¹¹¹In y ¹⁸¹Hf, espectroscopía de efecto Mössbauer sobre ⁵⁷Fe y ^{119m}Sn,

microscopía de fuerza atómica y de fuerza magnética, excitación de coloides y geles magnéticos mediante radiofrecuencia, calorimetría diferencial, análisis térmico diferencial y termogravimetría, gravimetría magnética, magnetometría de muestra vibrante, magnetometría de efecto Kerr, propiedades de transporte bajo campo magnético aplicado, susceptometría magnética ac, espectroscopía de impedancia, espectroscopia Uv-visible, es co-propietario de equipos de la Red Nacional de Magnetismo y Materiales Magnéticos (hoy adheridos al SNMag). Dispone además de *clusters* de computadoras para cálculo. Se tiene acceso a centros de cálculo locales e internacionales, a grandes facilidades, especialmente al LNLS y al LNNANO de Campinas, Brasil, al servicio TEM de la Facultad de Veterinaria-UNLP, al ICP-Masas del CIG y TEM-EDX de alta resolución de Y-TEC.

8.- AUTORIZACIONES CORRESPONDIENTES:

Describir los recaudos a tomar cuando utilicen en sus actividades científicas colecciones paleontológicas, arqueológicas, biológicas, geológicas entre otras. Previo al inicio del proyecto deberán enviar a la Dirección de Convenios y Proyectos, CONICET, la autorización provincial competente y la autoridad nacional cuando corresponda.

No aplica

JUSTIFICACION DEL PRESUPUESTO

Los montos (en pesos) destinados para cada ítem por año se detallan en la siguiente tabla:

insumos/servicios/etc	viajes	equipo		totales
350.000	150.000	500.000		1.000.000
350.000	150.000	500.000		1.000.000
760.000	240.000			1.000.000
760.000	240.000	0		1.000.000
780.000	220.000	0		1.000.000
TOTAL				5.000.000

Con los recursos económicos asignados se prevé:

Gastos de Capital:

- Adquirir máquinas de cálculo para ampliación del centro de cómputo del IFLP. No se destinará fondos para computadoras personales.
- Comprar licencias de programas de cálculo ab-initio con especial utilidad para modelar los sistemas (Código VASP) y de las bases cristalográficas DRX.
- Adquirir una cámara de guantes para el laboratorio de Química seca del IFLP, para manipulación de sistemas que no pueden exponerse a la atmósfera oxidante.
- Adquirir un torno de mesa para el laboratorio de actividades múltiples.

Bienes de Consumo:

- Adquirir los precursores químicos para fabricar los sistemas primarios y ensamblados, insumos en general, sustratos para crecimiento de películas y blancos para sputtering, material de vidrio para los laboratorios de química, hidrógeno gaseoso para la cámara de hidruración y los molinos mecánicos, piezas para ensamblaje de equipos ad-hoc, etc.
- Consumibles para instrumentos de medida: puntas para AFM, gases de máxima pureza (helio, nitrógeno, oxígeno, argón, etc), nitrógeno líquido, fuentes para espectroscopía Mossbauer, irradiación de muestras, crisoles para medidas de calorimetría.

- Insumos y repuestos no inventariables de computación.

Difusión y/o protección de resultados:

- Gastos de publicación de artículos y/o libros.
- Gastos de patentamientos

Servicios de terceros:

- Estudios específicos de microscopías, SQUID, citometría de flujo, IP-masas, XRF, XPS, XANES, SAXS en otros centros nacionales de investigación a través de STAN.
- Servicio técnico de mantenimiento y/o reparación de equipos.
- Servicio técnico de equipos informáticos.

Viajes y estadías:

- Solventar viajes a laboratorios nacionales o internacionales especializados para llevar a cabo medidas con técnicas complementarias a las disponibles en el IFLP.
- Invitar especialistas a los talleres que se realizarán en el IFLP.
- Viajes de capacitación para becarios, técnicos y/o profesionales del IFLP.

2) *Vacante de becas a concursar:*

El grupo está integrado por 42 investigadores, 13 becarios (doctorales y posdoctorales) y 7 técnicos. Ello da una relación de 0.31 becarios y 0.17 técnicos por investigador, respectivamente, posiblemente entre los más bajos de las UE que integran el CCT – La Plata. Estas relaciones ponen de manifiesto la necesidad de incorporar becarios y personal técnico al presente proyecto, incluso en números sensiblemente superiores a los admitidos en la presente convocatoria.

Por otro lado, cada una de las incorporaciones solicitadas se justifica en los planes y tareas incluidas en el formulario electrónico. En este sentido cabe mencionar que se creó una comisión interna ad hoc para seleccionar los planes de beca más relevantes para el proyecto, los cuales fueron elegidas por criterios de calidad y pertinencia, de entre 10 solicitudes.

3) *Vacante de personal de apoyo a concursar:*

CPA a concursar en la carrera de Profesional de Apoyo: apoyo en programación y control de experimentos, contribución al diseño y puesta a punto de prototipos.

Especialidad: Ing. Electrónico.

CPA a concursar en la carrera de Profesional de Apoyo: brindar apoyo en la preparación y caracterización de los materiales propuestos en el proyecto. El profesional requerido se mantendrá interiorizado y actualizado en nuevos métodos de síntesis, y en caso de ser necesario, hará breves estadías de especialización en otros centros de investigación.

Especialidad: Dr. En Química, Ing. Químico, Especialidad, Ing. en Materiales.

REFERENCIAS

- ¹ <http://www.quantalab.org/research/point-defects-2d-materials-quantum-technologies/>
² referencia
- ³ H. Aita, L. Arrachea, C. Naón, E. Fradkin, *Phys. Rev. B* 88, 085122 (2013).
- ⁴ N. Nessi, A. Iucci, M. A. Cazalilla, *Phys. Rev. Lett.* 113, 210402 (2014).
- ⁵ Myung Hun Kim et al. *Clays and Clay Minerals*, 64(2), 115–130 (2016)
- ⁶ J. M. Mason, N. Kokkoni, K. Stott, A. J. Doig, *Curr. Op. Struct. Biol.* 2003, 13, 526 – 532.
- ⁷ Brown GD, Denning DW, Gow NA, et al. *Eur J Med Res* 2011;16:180–6.
- ⁸ Review. Monika Šupová. *Ceramics International* 41 (2015) 9203–9231.
- ⁹ Wang, D., Guan, X., Huang, F. et al. *Russ. J. Phys. Chem.* (2016) 90: 1557-1762
- ¹⁰ K. J. Kirk, J. N. Chapman, and C. D. W. Wilkinson, *Appl. Phys. Lett.* 71,539 (1997)
- ¹¹ Vijay K. Varadan et al., *Nanomedicine: design and applications of magnetic nanomaterials, nanosensors, and nanosystems*, John Wiley & Sons, Ltd, p. 329, (2008).
- ¹² Vijay K. Varadan et al., *Nanomedicine: design and applications of magnetic nanomaterials, nanosensors, and nanosystems*, John Wiley & Sons, Ltd, p. 346, (2008).
- ¹³ C. L. Degen, F. Reinhard, P. Cappellaro, *Quantum sensing*, arXiv:1611.02427 [quant-ph].
- ¹⁴ Sumistha Das, Biswarup Sen Nitai Debnath *Environ Sci Pollut Res.* 22(23), 18333–18344 (2015) y referencias allí citadas
- ¹⁵ N. Endo et al. *International Journal of Hydrogen Energy* 42, 5246-5251 (2017)
- ¹⁶ Skyrmion Lattice in a Chiral Magnet, S. Mühlbauer et al. *Science* 323, 915 (2009)
- ¹⁷ Skyrmion Superfluidity in Two-Dimensional Interacting Fermionic Systems, *Scientific Reports* 5, 10824 (2015).
- ¹⁸ N. Nagaosa et al., Anomalous Hall Effect, *Rev. Mod. Phys.* 82, 1539 (2010)
- ¹⁹ Wilczek, F., *Nat. Phys.* 5, 614 (2009)
- ²⁰ C. Verdozzi, D. R. Jennison, P. A. Schultz, M. P. Sears, J. C. Barbour, and B. G. Potter, *Phys. Rev. Lett* 80, 5615 (1998).
- ²¹ M. Springis, P. Kulis, A. Veispals, and I. Tale, *Rad. Measurements* 24, 453 (1995).
- ²² E.N. Kaufmann, R.J. Vianden, *Rev. Mod. Phys.* 51 (1979); G. Schatz, A. Weidinger, *Nuclear Condensed Matter Physics: Nuclear Methods and Applications*, Wiley, Chichester, 1996.
- ²³ A. Lerf, T. Butz, *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* 26, 110 (1987).
- ²⁴ D. Lupascu, M. Uhrmacher, and K.P. Lieb, *J. Phys.: Condens. Matter* 6, 10445 (1994).
- ²⁵ J.M. Ramallo López et al., *Phys. Rev. Lett* 91, 108304 (2003).
- ²⁶ S. Lany et al., *Phys. Rev. B* 62, R2259 (2000).
- ²⁷ T. Klas, J. Voigt, W. Keppner, et al., *Phys. Rev. Lett.* 57, 1068 (1986); R. Fink et al., *Phys. Rev. B* 47, R10048 (1993).
- ²⁸ J. Meersschaut, C. L'abbe, M. Rots, and S. D. Bader, *Phys. Rev. Lett.* 87, 107201 (2001); M. Forker et al., *Phys. Rev. B* 68, 014409 (2003); M. Uhrmacher, R. N. Attili, K. P. Lieb, K. Winzer, and M. Mekata, *Phys. Rev. Lett.* 76, 4829 (1996); H. Jaeger and M.O. Zacate, *Defect and difussion studied by PAC spectroscopy*, *Trasn Tech Pub.*, Zurich, 2011.
- ²⁹ S.Decoster, S. Cottenier, B.De Vries, H.Emmerich, U. Wahl, J.G. Correia, A.Vantomme, *Phys. Rev. Lett.* 102, 065502. (2009)
- ³⁰ K. Lejaeghere et al, *Science* 351 (6280), aad3000 (2016).
- ³¹ Un review de estos métodos y sus aplicaciones puede encontrarse en K. Schwarz, <http://dx.doi.org/10.5772/59108>
- ³² A. Kasahara, et al.. *J. Phys. Chem. A* 106, 6750–6753 (2002).
- ³³ M. Yang, J. Oró-Solé , A. Kusmartseva, A. Fuertes, J. P. Attfield, *J. Am. Chem. Soc.* 132, 4822–4829 (2010).
- ³⁴ Y.-I. Kim, P. M. Woodward, K. Z. Baba-Kishi, C. W. Tai; *Chem. Mater.* 16, 1267–1276 (2004).
- ³⁵ Castelli, T. Olsen, S. Datta, D.D. Landis, S. Dahl, K. Thygesen and K.W. Jacobsen, *Energy & Environmental Science*, DOI: 10.1039/c1ee02717d (2012).
- ³⁶ M. Yang, et al.. *Nat. Chem.* 3, 47–52 (2011).
- ³⁷ Y.-R. Zhang, T.Motohashi, Y. Masubuchi, S. J. Kikkawa, *Ceram. Soc. Jpn.* 119, 581–586 (2011).
- ³⁸ Oka, D. et al. *Sci. Rep.* 4, 4987; DOI:10.1038/srep04987 (2014).
- ³⁹ Stadler, A. *Transparent conducting oxides.*, *Materials*, 5, 661-683 (2012).
- ⁴⁰ Sun Hong-Tao, Wang Xiao-Ping, Kou Zhi-Qi, Wang Li-Jun, Wang Jin-Ye, and Sun Yi-Qing. *Chin. Phys. B* Vol. 24, No. 4 047701 (2015).
- ⁴¹ A. Dhar and T. L. Alford. *ECS Solid State Letters*, 3 (11) N33-N36 (2014) N33 2162-8742/2014/3(11)/N33/4/\$31.00 © The Electrochemical Society.
- ⁴² M.G.Faraj, K.Ibrahim, M.K.M.Ali; *Optoelectronics and Advanced Materials, Rapid Communications*, (2011) 879-882.
- ⁴³ S. Günes and N.S.Sariciftci, *Inorganica Chimica Acta* 361, 581-588 (2008).
- ⁴⁴ Z. Sefrioui, et. al. *Advanced Materials* 22, 5029 (2010).
- ⁴⁵ S Gariglio, N Reyren, A D Caviglia and J-M Triscone, *J. Phys.: Condens. Matter* 21, 164213 (2009)
- ⁴⁶ H. Jeffrey Gardner et al ,*Nature Physics* (2011), doi:10.1038/nphys2075
- ⁴⁷ Hanghui Chen, et. al, *Advanced Materials*, 22 (26-27), 2881–2899 (2010)
- ⁴⁸ P Zubko, et. al *Annu. Rev. Condens. Matter Phys.* 2, 141–65 (2011).
- ⁴⁹ B. B. Nelson-Cheeseman, *J. Appl. Phys.* 103, 07B524 (2008); doi:10.1063/1.2838320
- ⁵⁰ Peter Robinson, et al. *Nature* 418, 517 - 520 (2002).
- ⁵¹ Zeng, H.; Sun, S. H. *Adv. Funct. Mater.* 18, 391 (2008)
- ⁵² Sun, X.; Frey Huls, N.; Sigdel, A.; Sun, S. *Nano Lett.* 12, 246–251 (2012).
- ⁵³ Wetterskog, E.; Tai, J.; Grins, Ch-W.; Bergström, L.; Salazar-Alvarez, G. *ACS Nano* 7, 7132–7144 (2013)
- ⁵⁴ E. Grothe, H. Meeke, E. Vlieg, J. H. ter Horst, and R. de Gelder, *Cryst. Growth Des.* 16, 3237–3243 (2016) (DOI: 10.1021/acs.cgd.6b00200).

- ⁵⁵ S. B. Honorato, J. S. Mendonça, N. Boechat, A. C. Oliveira, J. M. Filho, J. Ellena, A. P. Ayala, *Spect. Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 118, 389–394. (2014)
- ⁵⁶ R. K. Singh, M. Srivastava, N.K. Prasad, S. Awasthi, A. Dhayalan, S. Kannan, *Materials Science and Engineering C* 78, 715–726 (2017).
- ⁵⁷ Demus, D., Goodby, J., Gray, G. W., Spiess, H.-W. and Vill, V. (1998) Frontmatter, in *Handbook of Liquid Crystals Set*, Wiley-VCH Verlag GmbH, Weinheim, Germany. doi: 10.1002/9783527619276.fmatter4; Karel Goossens, Kathleen Lava, Christopher W. Bielawski, and Koen Binnemans. *Chem. Rev.* 116, 4643–4807 (2016).
- ⁵⁸ B. Lombardi, M. Baschini; *Appl Clay Sci* 24, 43-50 (2003).
- ⁵⁹ F.M. Flores, M. Gamba, R.M. Torres Sánchez, E. Brendlé, J. Brendlé; *Applied Clay Science* 134, 83–88(2016)
- ⁶⁰ E. Assaad, A. Azzouz, et al. . *Appl Clay Sci.* 37, 258–274 (2007).
- ⁶¹ S. Barreca, J. J. Velez Colmenares, A. Pace, S. Orecchio, C. Pulgarin, *J Photochem Photobiol: Chem* 282, 33 (2014).
- ⁶² J. Virkutyte, R. S. Varma; *ACS Sustainable Chem Eng* 2, 1545 (2014).
- ⁶³ B. S. Al-Farhan, *Int. J. Nano. Chem.* 2, No. 1, 27-31 (2016)
- ⁶⁴ B. S. Al-Farhan, *Int. J. Nano. Chem.* 2, No. 1, 27-31 (2016)
- ⁶⁵ H. Wang et al. *J. Alloys and Compounds* 658 280-300 (2016).
- ⁶⁶ A. Borzi, F. A. Gómez Albarracín, H. D. Rosales, G. L. Rossini, A. Steppke, D. Prabhakaran, A. P. Mackenzie, D. C. Cabra, S. A. Grigera, *Nature Communications* 7:12592 (2016). DOI: 10.1038/ncomms12592
- ⁶⁷ H.D. Rosales, D.C. Cabra, Pierre Pujol, *Phys. Rev. B* 92, 214439 (2015).
- ⁶⁸ A. Boette, R. Rossignoli, N. Canosa, J.M. Matera, *Phys. Rev. B* **91**, 064428 (2015); A. Boette, R. Rossignoli, N. Canosa, J.M. Matera, *Phys. Rev. B* **94**, 0214403 (2016); J. M. Matera, C. A. Lamas, *J. Phys.* 26, 326004 (2014); C. Lamas, J. M. Matera, *Phys. Rev. B* 92, 1151 (2015).
- ⁶⁹ J.M. Matera, R. Rossignoli, N. Canosa, *Phys. Rev. A* 78, 012316 (2008); *Phys. Rev. A* 82, 052332 (2010); *Phys. Rev. A* 83, 042328 (2011); *Phys. Rev. A* 86, 062324 (2012)
- ⁷⁰ J.M. Matera, R. Rossignoli, N. Canosa, *Phys. Rev. A* 78, 42319 (2008); R. Rossignoli, N. Canosa, P. Ring, *Phys. Rev. Lett.* 80, 1853 (1998); N. Canosa, R. Rossignoli, *Phys. Rev. B* 62, 5886 (2000); *Phys. Rev. B* **63**, 134523 (2001); R. Rossignoli, N. Canosa, P. Ring, *Phys. Rev. B* 67, 144517 (2003).
- ⁷¹ R. Rossignoli, N. Canosa *Phys. Rev. A* 72, 012335 (2005); *Phys. Rev. A* 73, 023347 (2006).
- ⁷² M.Cerezo, R.Rossignoli, N.Canosa, *Phys. Rev. B* 92, 2244221 (2015); *Phys. Rev. A* 94, 423351 (2016); E. Rios, R. Rossignoli, N. Canosa *J. Phys. B* 50, 095501 (2017). N. Canosa, R. Rossignoli, J.M. Matera, *Phys. Rev. B* 81, 054415 (2010). R. Rossignoli, N. Canosa, J.M. Matera, *Phys. Rev. A* 77, 052322 (2008); *Phys. Rev. A* 80, 062325 (2009).
- ⁷³ L. Ciliberti, R. Rossignoli, N. Canosa, *Physical Review A* 82, 042316 (2010); *Phys. Rev. A* 88, 012119 (2013); R. Rossignoli, N. Canosa, L. Ciliberti, *Phys. Rev. A* 82, 052342 (2010); N. Gigena, R. Rossignoli, *Phys. Rev. A* 92 042326 (2015); *Phys. Rev. A* 94, 042315 (2016). L. Rebón, et al. *J. Phys. B* 49, 215501 (2016).
- ⁷⁴ E.L. Muñoz, G. N. Darriba, A. G. Bibiloni, L. A. Errico, and M. Rentería, *J. Alloys and Comp.* 495, 532 (2010); D. Richard, G. N. Darriba, L.A. Errico, E. L. Muñoz, and M. Rentería, *J. Alloys and Comp.* 594, 189 (2014).
- ⁷⁵ M.S. Moreno, J. Desimoni, A.G. Bibiloni, M. Rentería, C.P. Massolo and K. Freitag, *Phys.Rev. B* 43, 10086 (1991); A.F. Pasquevich, A.G. Bibiloni, C.P. Massolo, M. Rentería, J. Vercesi and K. Freitag, *Phys. Rev. B* 49, 14331 (1994); L.A. Errico, M. Rentería et al., *Eur. Phys. J. B* 22, 149 (2001); G. N. Darriba et al., *Phys. B* 404, 2739 (2009).
- ⁷⁶ M. Rentería, F.G. Requejo, A.G. Bibiloni, A.F. Pasquevich, J. Shitu and K. Freitag, *Phys. Rev. B* 55, 14200 (1997).
- ⁷⁷ C.P. Massolo, M. Rentería et al., *Phys. Rev. B* 37, 4743 (1988); A.G. Bibiloni et al., *Phys. Rev. B* 38, 20 (1988); J. Desimoni et al., *Phys. Rev. B* 41, 1443 (1990); E.L. Muñoz et al., *Phys. B* 407, 3121–3124 (2012).
- ⁷⁸ D. Richard, M. Rentería, and A.W. Carbonari, *Semiconductor Science and Technology*, accepted (2017).
- ⁷⁹ L.A. Errico, G. Fabricius, M. Rentería, P. de la Presa, and M. Forker, *Phys. Rev. Lett.* 89, 55503 (2002); L.A. Errico, G. Fabricius, and M. Rentería, *Phys. Rev. B* 67, 144104 (2003).
- ⁸⁰ S. Duhalde et al., *Phys. Rev. B* 72, 161313 (R) (2005); L.A. Errico, M. Rentería, and M. Weissmann, *Phys. Rev. B* 72, 184425 (2005).
- ⁸¹ G.N. Darriba, L.A. Errico, P. D. Eversheim, G. Fabricius, and M. Rentería, *Phys. Rev. B* 79, 115213 (2009).
- ⁸² G.N. Darriba, M. Rentería, H.M. Petrilli, and L.V.C. Assali, *Phys. Rev. B* 86, 075203 (2012);
- ⁸³ G.N. Darriba, E.L. Muñoz, L.A. Errico, and M. Rentería, *J. Phys.Chem. C* 118, 19929 (2014).
- ⁸⁴ D. Richard, G.N. Darriba, E.L. Muñoz, L.A. Errico, P.D. Eversheim, and M. Rentería, *J. Phys. Chem. C* 120, 5640 (2016).
- ⁸⁵ D. Richard, E. L. Muñoz, M. Rentería, L.A. Errico, A. Svane, and N. E. Christensen, *Phys. Rev. B* 88, 165206 (2013).
- ⁸⁶ D. Richard, L. A. Errico, and M. Rentería *J. Alloys and Comp.* 664, 580 (2016).
- ⁸⁷ M. A. Taylor, R. E. Alonso, L. A. Errico, A. López-García, P. de la Presa, A. Svane and N. E. Christensen., *Physical Review B* 82, 165203 (2010).
- ⁸⁸ M. A. Taylor, R. E. Alonso, A. López-García, P. de la Presa, A. Svane, and N. E. Christensen. *Physical Review B* 85, 155202 (2012).
- ⁸⁹ M. A. Taylor; et al.. *Defect And Diffusion Forum. Trans. Tech. Publications.*, 479, 237-240 (2005).
- ⁹⁰ M. Kilo, et al. *Diffusion Fundamentals* 8 8.1 – 8.7 ISSN 1862-4138 (2008)
- ⁹¹ M. Kilo, M.A. Taylor, Ch. Argirusis, G. Borchardt, R.A. Jackson, M. Weller. *Solid State Ionics* 175 823-827 (2004).
- ⁹² S. Duhalde, et al. . *Physical Rev. B* 72 161313(R) *Rapid Communication* (2005)
- ⁹³ Evidence of defect-induced ferromagnetism in ZnFe2O4 thin films. C.E.Rodríguez Torres, F. Golmar, M. Ziese, P. Esquinazi, and S. P. Heluani. *Phys Rev B* (aceptado)
- ⁹⁴ L.C. Damonte, M.A. Hernández Fenollosa, V. Donderis and B. Marí, *Physica Status Solidi c* 4 (2007) 3899-3902. ISSN 1862-6351.

- ⁹⁵ Hoya, J.I.Laborde and L.C. Damonte, *Int J Hydrogen Energy*, 37 (19) 14769-14772 (2012), DOI:10.1016/j.ijhydene.2011.12.082
- ⁹⁶ L.C. Damonte, V. Donderis and M.A. Hernández Fenollosa; *Hyp Int* 179, 73-79 (2007) doi: 10.1007/s10751-008-9673-1
- ⁹⁷ L.C.Damonte, V.Donderis, S.Ferrari, M.Meyer, J.Orozco and M.A.Hernández-Fenollosa. *International Journal of Hydrogen Energy*, 35 (11) 5834-5837 (2010) IF: 3.452, ISSN: 0360-3199, 10.1016/j.ijhydene.2009.12.131
- ⁹⁸ Ma.V. Gallegos, M.A.Peluso, H.Thomas, L.C. Damonte and J.E.Sambeth, *J Alloys and Compounds* 689, 416-424 (2016).
- ⁹⁹ V. Donderis, M.A. Hernández-Fenollosa, L.C. Damonte, B. Marí and J. Cembrero; *Superl.and Microstruc.* ISSN: 0749-6036, Vol 42, Issues 1-6, , 461 (2007).
- ¹⁰⁰ M. Elisa de Sousa, Marcela B. Fernández van Raap, Patricia C. Rivas, Pedro Mendoza Zélis, Pablo Girardin, Gustavo A. Pasquevich, Jose L. Alessandrini, Diego Muraca, and Francisco H. Sánchez, *The Journal of Physical Chemistry C* **117**(10), (2013) pp 5436-5445. ISSN: 1932-7447. DOI 10.1021/jp311556b.
- ¹⁰¹ D.F. Coral, P. Mendoza Zélis, M. Marciello, M. del Puerto Morales, A. Craievich, F.H. Sánchez, and M.B. Fernández van Raap. *Langmuir* **32** (2016) 1201-1213. ISSN: 0743-7463. DOI: 10.1021/acs.langmuir.5b03559
- ¹⁰² M. Fernanda Horst, Diego F. Coral, Marcela B. Fernández van Raap, Mariana Alvarez, Verónica Lassalle. *Mater Sci Eng C Mater Biol Appl.* 2017 May 1;74:443-450. doi: 10.1016/j.msec.2016.12.035. Epub 2016 Dec 10.
- ¹⁰³ D. F. Coral, P. Mendoza Zélis, M. E. de Sousa, D. Muraca, V. Lassalle, P. Nicolás, M. L. Ferreira and M. B. Fernández van Raap, *Journal of Applied Physics* **115** (2014) 043907. ISSN 0021-8979. DOI:10.1063/1.4862647.
- ¹⁰⁴ M. E. de Sousa, A. Carrea, P. Mendoza Zélis, D. Muraca, O. Mykhaylyk, Y. E. Sosa, R. G. Goya, F. H. Sánchez, R. A. Dewey, and M. B. Fernández van Raap. *J. Phys. Chem. C*, 2016, 120 (13), pp 7339–7348 DOI: 10.1021/acs.jpcc.5b12330
- ¹⁰⁵ Dispositivo generador de campos magnéticos alternos apto para la aplicación en la terapia oncológica Patente N° 20160101254 A. Veiga, M. B. Fernández van Raap y otros.
- ¹⁰⁶ Mención en el Premio a la Innovación 2016 de la UNLP otorgada a A. Veiga y M. B. Fernández van Raap. Monto: \$15.000. <http://secyt.presi.unlp.edu.ar/Wordpress/?p=5002#more-5002>, http://www.ing.unlp.edu.ar/articulo/2017/4/19/desarrollo_contra_el_cancer
- ¹⁰⁷ M. B. Fernández van Raap*, D. F. Coral, S. Yu, G.A. Muñoz, F. H. Sánchez, A.Roig, *Phys Chem Chem Phys.* 2017 Mar 8;19(10):7176-7187. doi: 10.1039/c6cp08059f.
- ¹⁰⁸ P. Mendoza Zélis, G. A. Pasquevich, S. J. Stewart, M. B. Fernández van Raap, J. Apesteguy, I. J. Bruvera, C. Laborde, B. Pianciola, S. Jacobo and F.H. Sánchez, *Journal of Physics D: Applied Physics* **46** (2013) pp 125006. ISSN: 0022-3727. DOI 10.1088/0022-3727/46/12/125006
- ¹⁰⁹ FH Sánchez, P Mendoza Zélis, ML Arciniegas, GA Pasquevich, MB van Raap, *Physical Review B* 95 (13), 134421(18), 2017.
- ¹¹⁰ http://vinculacion.conicet.gov.ar/busador-de-oferta-tecnologica/?id_ot=1226&tipo=101; Verónica Ferraresi-Curotto, Gustavo A. Echeverría, Oscar E. Piro, Reinaldo Pis-Diez, Ana C. González-Baró. *Journal of Molecular Structure* 1133 (2017) 436-447; Oscar E. Piro, Gustavo A. Echeverría, Beatriz S. Parajón-Costa and Enrique J. Baran. *Z. Naturforsch.* 2016; 71(1)b: 51–55; Reinaldo Pis-Diez, Gustavo A. Echeverría, Oscar E. Piro, Jorge L. Jios and Beatriz S. Parajón-Costa *New J. Chem.*, 2016, 40, 2730-2740; C. Villa-Pérez, I. Oyarzabal, G. Echeverría, G. C. Valencia-Urbe, J. Manuel Seco and D.B. Soria. *Eur. J. Inorg. Chem.* 2016, 4835–4841; Graciela E. Escudero, Carlos H. Laino, Gustavo A. Echeverría, Oscar E. Piro, Nancy Martini, Ailén N. Rodríguez, Juan J. Martínez Medina, Libertad L. López Tévez, Evelina G. Ferrer, Patricia A.M. Williams. *Chemico-Biological Interactions* 249 (2016) 46-55; Verónica Ferraresi-Curotto, Gustavo A. Echeverría, Oscar E. Piro, Reinaldo Pis-Diez, Ana C. González-Baró. *Journal of Molecular Structure* 1133 (2017) 436-447; Oscar E. Piro, Gustavo A. Echeverría, Beatriz S. Parajón-Costa and Enrique J. Baran. *Z. Naturforsch.* 2016; 71(1)b: 51–55; Reinaldo Pis-Diez, Gustavo A. Echeverría, Oscar E. Piro, Jorge L. Jios and Beatriz S. Parajón-Costa *New J. Chem.*, 2016, 40, 2730-2740; C. Villa-Pérez, I. Oyarzabal, G. Echeverría, G. C. Valencia-Urbe, J. Manuel Seco and D.B. Soria. *Eur. J. Inorg. Chem.* 2016, 4835–4841; Graciela E. Escudero, Carlos H. Laino, Gustavo A. Echeverría, Oscar E. Piro, Nancy Martini, Ailén N. Rodríguez, Juan J. Martínez Medina, Libertad L. López Tévez, Evelina G. Ferrer, Patricia A.M. Williams. *Chemico-Biological Interactions* 249, 46-55 (2016).
- ¹¹¹ J.R. Guerra-López, G.A. Echeverría, J.A. Güida, R. Viña, G. Punte, *J. Phys.Chem. Solids* 81, 57–65 (2015). J. R. Guerra-López, J.A. Güida. M.A. Ramos and G. Punte, *J. Mol. Struc.*, 1137, 727-724 (2017).
- ¹¹² Oscar E. Piro, Gustavo A. Echeverría and Fabio D. Cukiernik, *Crystallography reviews*, 2017, on line: <https://doi.org/10.1080/0889311X.2017.1320550>.
- ¹¹³ M. Bab, L. Mendoza Zélis. *Scripta materialia* 50 99-104 (2003).
L. Baum, M. Meyer, L. Mendoza Zélis. *Physica B* 389, 189-192 (2007).
M. Bab, L. Baum, L. Mendoza Zélis. *Physica B* 389, 193-197 (2007).
L. Baum, M. Meyer, L. Mendoza Zélis. *Hyperfine Interactions* 179, 61-65 (2007).
L. Baum, M. Meyer, L. Mendoza Zélis. *Journal of Hydrogen Energy* 33, 3442-3446 (2008).
M. Meyer, L. Mendoza Zélis, L. Baum. *International Journal of Hydrogen Energy* 36, 600-605 (2011).
M. Meyer, L. Mendoza Zélis. *International Journal of Hydrogen Energy* 37, 14864-14869 (2012).
A. Biasetti, M. Meyer, L. Mendoza Zélis. *International Journal of Hydrogen Energy* 39, 8767-8771 (2014).
M. Meyer, L. Mendoza Zélis. *Journal of Alloys and Compounds*, 611, 11–18 (2014).
A. Biasetti, M. Meyer, L. Mendoza Zélis. *Technology* 307, 145–152 (2017).
- ¹¹⁴ L.C. Damonte, L.A. Mendoza Zélis, B.Marí Soucase, M.A. Hernández Fenollosa, *Powder Technology* (Elsevier Science) 148 (2004) 15-19. ISSN: 0032-5910, doi:10.1016/j.powtec.2004.09.014.
- ¹¹⁵ L.C.Damonte, M.Hernández Fenollosa and B.Marí *J.Alloys and Comp.* 434–435 (2007) 813-815. ISSN 0925-8388.
- ¹¹⁶ J.I.Laborde; J.Hoya; M. D Reyes-Tolosa, María A Hernández-Fenollosa, L.C.Damonte, doi: *Int. J.Hydr.Energy*, 39 (2014) 8697-8701.

-
- ¹¹⁷ S. A. Osorio, H. D. Rosales, M. B. Sturla, D. C. Cabra, arXiv:1611.06171.
- ¹¹⁸ A. V. Gil Rebaza, M.L. Montes, M. A. Taylor, L. Errico, R. Alonso 101a Reunión Nacional de Física AFA, Septiembre de 2016, San Miguel de Tucumán, Tucumán Argentina
- ¹¹⁹ G.N. Darriba, R. Faccio, and M. Rentería, *Computational Materials Science* 107, 15 (2015).
- ¹²⁰ L.A. Errico, K. Lejaeghere, J. Runco, S.N. Mishra, M. Rentería, and S. Cottenier, *J. Phys. Chem. C* 120, 23111 (2016).
- ¹²¹ Maria D Reyes Tolosa, Laura C Damonte, Hicham Brine, Henk J Bolink and María A Hernández-Fenollosa, *Nanoscale Research Letters* 2013, 8:135 doi:10.1186/1556-276X-8-135.
- ¹²² M.G. Valluzzi, L.G. Valluzzi, L.C. Damonte; presentado en Nano 2016, Bs.As, Mayo 2016
- ¹²³ D. Fourmy, J. Carrey, V. Gigoux, *Nanomedicine* (2015) 10(6), 893–896 DOI: 10.2217/NNM.14.236
- ¹²⁴ Effective demagnetizing tensors in arrays of magnetic nanopillars, P. Mendoza-Zélis, V. Vega, V. M. Prida, L. C. Costa-Arzuza, F. Béron, K. R. Pirota, R. López-Ruiz, F. H. Sánchez, enviado a PRB.
- ¹²⁵ Imaging cell-magnetic nanoparticle interaction Paula A. Soto, Diego F. Coral, Vanina Usach, Patricia Setton-Avruj, Marcela B. Fernández van Raap, *Imaging Techniques for Biotechnological and Biomedical Applications Workshop* Dic. 2016, CCT Conicet, La Plata.
- ¹²⁶ <http://www.aadee.com.ar/>, Laboratório de Materiais e Baixas Temperaturas (LMBT), Departamento de Física da Matéria Condensada, Instituto de Física Gleb Wataghin, UNICAMP.