



# I JORNADA DE DIFUSIÓN DEL DEPARTAMENTO DE CIENCIAS BÁSICAS

12 DE OCTUBRE DE 2017

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS BÁSICAS - FACULTAD DE INGENIERÍA – UNLP

Esta Jornada tiene el propósito de difundir las tareas de docencia, investigación y/o extensión que desarrollan los docentes del Departamento.

En esta primera Jornada, en algunos casos, se exponen trabajos que fueron o serán presentados en Reuniones Científicas y en otros, los docentes cuentan sobre qué temas están trabajando.

El presente documento se realizó con el objetivo de tener la información de los temas expuestos en la Jornada.

## RESÚMENES

### 1. **Wavelets: ver a la vez el árbol y el bosque.** Victoria Vampa

Durante más de 200 años el Análisis de Fourier y sus variantes, como la Transformada de Fourier con ventanas y la Transformada rápida de Fourier, fueron una herramienta muy poderosa en muchos campos de la ciencia y la industria. La llegada de las wavelets u ondículas, desarrolladas por geólogos, ingenieros y matemáticos en los 80, permitieron descomponer una señal en sus diferentes componentes de frecuencias y estudiar cada una de esas componentes con una resolución adecuada a su escala. Las wavelets son funciones suaves, oscilantes y de soporte compacto o rápido decaimiento y la descomposición que proveen, a diferencia de Fourier, presta su atención a zonas de las funciones con comportamientos más anómalos, como discontinuidades o zonas de variación pronunciada. Si la función describe un movimiento sísmico, por ejemplo, ese análisis podrá detectar, y por tanto prevenir, un terremoto. O en el caso de una señal electrocardiográfica, podrá detectar y localizar la región de una isquemia o de un infarto del miocardio.

Con el amplio desarrollo de los últimos años, el Análisis Multirresolución, permite disponer de una nueva herramienta no sólo en campos ya explorados por las técnicas de Fourier, como el procesamiento de señales e imágenes, sino también en otros nuevos como es la solución de la forma débil de ecuaciones diferenciales. La propuesta para esta jornada es contarles brevemente sobre esta una combinación de análisis funcional, transformada de Fourier, análisis armónico y



análisis numérico que constituye el análisis basado en la transformada wavelet, y por qué permite ver a la vez el árbol y el bosque.

Por sus valiosos aportes a esta teoría el matemático Yves Meyer recibió este año el Premio Abel (como un Nobel de Matemática).

## **2. Construcción de bases Wavelets ortogonales.** Lucila Calderón

En este trabajo se describe la construcción de una base wavelet a partir de la B-spline cúbica. Las wavelets en diferentes niveles son ortogonales con respecto al producto interior  $\langle u, v \rangle$ . Este requerimiento de ortogonalidad es muy ventajoso en aplicaciones para la solución numérica de ecuaciones diferenciales por las propiedades de la matriz de rigidez que se obtiene.

## **3. Distribución de la corriente eléctrica en estimulación cerebral pre-quirúrgica usando electrodos intracraneales.** Mariano Fernández Corazza

Electrodos profundos son implantados en pacientes con epilepsia refractaria para estudiar la red epileptógena y como evaluación pre-quirúrgica. Este tipo de electrodos se utiliza generalmente para medir la actividad eléctrica, modalidad conocida como estéreo-electroencefalografía, pero también se utilizan para estimular eléctricamente al cerebro. Las respuestas del cerebro a estas estimulaciones proporcionan información acerca de áreas elocuentes y de la red epileptógena. Al utilizar diferentes tipos de electrodos profundos, se han encontrado diferencias significativas en los parámetros de estimulación necesarios para producir post-descargas. En general, se utiliza un mismo protocolo a pesar de utilizar distintos tipos de electrodos, por lo que es necesario estudiar la distribución de la densidad de corriente con un mayor detalle. Utilizando modelos eléctricos de elementos finitos, en el presente trabajo se analiza y compara la distribución de densidad de corriente para cuatro tipos de electrodos distintos en un medio homogéneo. Además, se desarrolló un modelo de elementos finitos detallado del cerebro de un paciente para estudiar los efectos en un escenario más realista. Se encontró que electrodos diferentes requieren de hasta tres veces más intensidad en la corriente aplicada para producir la misma magnitud en la densidad de corriente, lo que coincide con la experiencia clínica.

## **4. El desafío de evaluar conocimientos de programación en materias de métodos numéricos en carreras de ingeniería.** Guillermo Mena y Lucas Mena

En el presente trabajo se propone mostrar una metodología aplicada para evaluar conocimientos adquiridos sobre programación en materias de métodos numéricos en cursos de grado de carreras ingeniería. No siempre los planes de estudio



FACULTAD DE INGENIERÍA



UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
DE LA PLATA



contienen, entre las materias cursadas previamente, aquellas que incluyan contenidos de programación por lo que, en muchos casos, estos contenidos deben formar parte de la currícula de las asignaturas cuyo principal objetivo es la resolución numérica de problemas. En estos casos, resulta un interesante desafío (de organización, recursos humanos, de facilidades en las aulas y administración los tiempos) brindar las nociones de programación necesarias para implementar los métodos numéricos, y debe ser complementado con herramientas que permitan evaluar el nivel de adquisición de estos conocimientos. La metodología aplicada consiste en incluir en los exámenes el código de un programa que resuelve un método numérico, y se complementa con preguntas, de distinto grado complejidad, que resulten de rápida resolución y en las el alumno puede mostrar hasta dónde ha podido incorporar los conocimientos de programación suministrados. Finalmente, se procedió a analizar la calidad de los resultados obtenidos y disponer así de instrumentos que permitan una mejora en el calidad de los resultados obtenidos y disponer así instrumentos permitan una mejora en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

**5. Actividad de estudio e investigación para la enseñanza del concepto de Distribución Normal en carreras de ingeniería.** María Valeria Calandra

En este trabajo se presenta una investigación realizada sobre las problemáticas en la enseñanza y aprendizaje de la Distribución Normal. Se propone una estrategia para abordar algunas de las problemáticas observadas en la enseñanza de estos conceptos en carreras de ingeniería. Se elabora en el mismo una propuesta didáctica en el marco de la Teoría Antropológica de lo Didáctico dirigida para alumnos de un curso regular de probabilidades. La misma propone enseñar en la pedagogía de la investigación y del cuestionamiento del mundo a partir del estudio de un problema abierto en el cual el alumno toma un rol activo en contraposición a la enseñanza tradicional que se utiliza generalmente en el ámbito universitario.

**6. Estrategias de Articulación entre Matemática A y Física I.** Patricia Torroba, Eugenio Devece, Luisina Aquilano y María de las Mercedes Trípoli

Se relata brevemente una experiencia didáctica de articulación entre Matemática A y Física I, realizada en el aula de Matemática A relacionando el análisis de una función de una variable desde la matemática y conceptos de cinemática, desde la física, con el objetivo de utilizar el análisis de una función en una situación física experimental y contrastar los resultados del modelo teórico con los resultados experimentales, con el empleo de TIC. Además, se describen otras dos propuestas didácticas: una relacionando las funciones trigonométricas y el movimiento armónico simple, y la otra aplicando las magnitudes vectoriales en conceptos

físicos como es el choque entre dos cuerpos y los cuerpos en equilibrio. Tanto la actividad desarrollada como las propuestas a llevarse a cabo en el próximo año, comparten objetivos comunes que son: articular conceptos, notaciones y lenguajes tratados en matemática y física; motivar a los estudiantes en el estudio de las matemáticas mostrando su aplicación a situaciones reales e incorporar actividades experimentales con uso de TIC en el aula de matemática para validar los modelos físico-matemáticos de las situaciones involucradas.

#### **7. Métodos para resolver el problema de control óptimo en sistema clásicos/cuánticos.** Diego Tielas

En esta charla se considera el problema de llevar un estado de un sistema desde un estado inicial, a uno con propiedades deseadas. Se comentará brevemente conceptos básicos de la teoría de control óptima y se comentarán distintos enfoques para resolver este problema [1]. Se mostrarán algunos resultados obtenidos con la técnica de control óptimo de base punteada aleatoriamente (CRAB) [2] junto a la de Ingeniería de pulso utilizando el gradiente (GRAPE) [3].

Referencias:

- [1] D.d'Alessandro, Chapman & Hall, 2008.
- [2] Phys. Rev. Lett. 106, 190501 (2011).
- [3] J. Magn. Reson. 172, 296 (2005).

#### **8. El rol de la Geometría Diferencial en las descripciones macroscópicas.** Augusto Melgarejo

La utilización de la geometría diferencial en las descripciones macroscópicas ha tenido muchos éxitos. Por ejemplo la curvatura escalar de la variedad asociada al espacio de estados de equilibrio es una medida del volumen de correlación, por lo tanto sus singularidades indican las inestabilidades para los sistemas en equilibrio termodinámico. En esta exposición comentaremos acerca de la extensión del uso de criterios y estrategias geométricas para sistemas fuera del equilibrio.

#### **9. Láseres, espectroscopía y ED para caracterización, procesamiento y documentación de materiales y objetos de interés industrial.** Gabriel Bilmes

Se describirán brevemente las características e impacto de la fotónica en el mundo actual y de uno de sus productos fundamentales: el láser. Se discutirán los procesos de interacción láser materia, en particular la ablación láser y los fenómenos a que da lugar. Se mostrará como emplear estos fenómenos para limpieza de superficies, caracterización de composición de materiales y para la

medición del grado de limpieza de objetos. Se presentarán aplicaciones en áreas tales como limpieza y restauración de objetos de valor patrimonial, caracterización de composición de piezas únicas de valor antropológico y arqueológico y control de calidad de productos industriales, como piezas de automóviles, chapas. etc. Por otro lado se mostrarán aplicaciones de la Fotoacústica inducida por ablación láser. En particular un método y un instrumento que permite medir automáticamente la suciedad total depositada sobre la superficie de un objeto. Finalmente se presentará un sistema para el registro de imágenes 3D de bajo costo y software libre, denominado Mu3D, desarrollado para su uso en la conservación de patrimonio cultural que está siendo transferido a los museos de la Provincia de Buenos Aires para la documentación de sus colecciones.

#### **10. Escombros de HI en el grupo de galaxias IC 1459.** Juliana Saponara

IC 1459 es una galaxia gigante elíptica que le da igual nombre a un grupo de galaxias ubicado a una distancia de 29 Mpc. Este grupo contiene una decena de galaxias mayoritariamente de tipo tardío. En el año 2015, Serra P. y colaboradores publicaron observaciones realizadas con el precursor del Square Kilometer Array (ASKAP), revelando la presencia de tres nubes de HI en las galaxias: dos en la proximidad de IC 5270 y una en la de NGC 7418. Nuestro trabajo consistió en buscar emisión del HI intragrupo aún más difuso utilizando todos los datos disponibles del Australia Telescope Compact Array (ruido 10 veces menor que ASKAP) y estudiar las propiedades del gas, distribución y cinemática, en función del ambiente. Los resultados obtenidos permitieron proponer el origen de la presencia del gas muestreado, y son presentados aquí. El haz primario del arreglo compacto es de 33'; las galaxias de interés en este estudio incluyen también a IC 5264B, IC 5269A, IC 5264 y NGC 7418A.

#### **11. Catalizadores a base de ceriazirconia en la eliminación de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en aguas.** María Angélica Jaworski

Se estudió la eliminación de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en aguas empleando catalizadores de Pd (1% p/pPd) y PdCu usando H<sub>2</sub> como agente reductor. Como soporte se utilizaron ZrO<sub>2</sub> y CeO<sub>2</sub> preparada por calcinación o sol-gel puras o modificadas con 5% p/pZrO<sub>2</sub>. Los soportes obtenidos fueron mesoporosos y la ZrO<sub>2</sub> se distribuyó homogéneamente sobre los mismos. Los catalizadores Pd fueron activos en la eliminación de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> aunque no lograron eliminarlo completamente y generaron alta cantidad de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. El agregado de 0.3% p/pCu sobre los catalizadores Pd mejoró su actividad y selectividad a N<sub>2</sub>. Los catalizadores PdCu/Ce y PdCu/Zr-Ce eliminaron completamente los NO<sub>3</sub><sup>-</sup>; sin embargo, la cantidad de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (1 y 3 ppm) generada fue más alta que la permitida por la norma (0.5 ppm). El sistema con

mejor selectividad a  $N_2$  fue PdCu/Zr-Ce SG (99.6%) aunque se evidencia una desaceleración de la reacción con el tiempo. El uso de HCl para regular el pH permitió que este catalizador elimine completamente los  $NO_3^-$  manteniendo la selectividad a  $N_2$ . Este mismo catalizador eliminó un 40% de los  $NO_3^-$  presentes en muestras de aguas destinadas a consumo humano y se detectó una alta generación de  $NO_2^-$  (15ppm), probablemente los iones presentes en el agua tratada enmascaran los sitios de adsorción de  $NO_3^-$ .

## 12. DLS (Dynamic Laser Speckle): aplicaciones biológicas e industriales. Marcelo Trivi

Dynamic Laser Speckle (DLS) es una técnica óptica utilizada en múltiples aplicaciones en biología, agronomía, medicina, industria, etc. Está basada en un fenómeno óptico que se observa cuando un laser ilumina un objeto que presenta algún tipo de movimiento microscópico. El objeto parece estar cubierto por pequeños puntos brillantes y oscuros (“speckle”) que varían de manera aleatoria de acuerdo con las fluctuaciones de la superficie. Por lo tanto, el estudio de la evolución del speckle proporciona una herramienta no destructiva ni invasiva para caracterizar los parámetros que intervienen en los procesos dinámicos de la muestra.

El speckle es típico en muestras biológicas iluminadas por laser. En particular ha sido aplicado al estudio de procesos dinámicos en biología, tales como viabilidad de semillas, daños por golpe en frutos, detección de hongos, chemotaxis en bacterias, movilidad de parásitos, coagulación de sangre, distinción de especímenes vegetales y también en procesos industriales tales como hidroadsorción en arcillas, secado de pinturas, evolución de emulsiones, transmisión del calor, etc.

En este trabajo se presenta una breve reseña de los conceptos básicos de la técnica (DLS), se muestran algunos ejemplos de aplicaciones y se discuten las perspectivas de investigaciones futuras en este campo.

## 13. Entrelazamiento cuántico e información cuántica. Raúl Rossignoli

Se dará primero una breve descripción del tema de investigación de nuestro grupo, en el que participan también otros docentes de este Departamento. Se incluirá asimismo un resumen de nuestros últimos trabajos, relacionados con problemáticas tales como entrelazamiento y factorización en sistemas de espines, entrelazamiento en sistemas fermiónicos, el concepto de entropía condicional en mecánica cuántica y modelos discretos de evolución cuántica.



**14. Una breve reseña del caos en láseres gaseosos en Argentina y una aplicación en óptica atmosférica.** Damián Gulich

El estado de caos inducido por una realimentación en los láseres gaseosos es un tema relativamente poco explorado en la literatura especializada. Sin embargo, en los años 60 este fenómeno fue estudiado en Argentina para ser utilizado en tareas de alineación de sistemas. Repasamos esta historia y presentamos una aplicación más reciente en el estudio de la turbulencia atmosférica.

**15. Estabilidad del equilibrio singular en redes eléctricas no lineales.** Cecilia González

En este trabajo analizamos la estabilidad del equilibrio singular para una clase de circuitos eléctricos no lineales que se modelizan por ecuaciones diferenciales algebraicas: los circuitos RLC. El análisis consta de dos partes: por un lado, se usan resultados conocidos que permiten determinar la estabilidad del equilibrio singular, y por el otro, se utiliza una técnica de reducción que nos permite modelar el sistema por una ecuación diferencial ordinaria sobre un espacio de menor dimensión, de este modo el estudio de la estabilidad puede hacerse a partir de resultados clásicos de sistemas no-lineales. Además, se obtienen conclusiones sobre la dinámica alrededor del equilibrio, es decir, más allá de establecer la estabilidad asintótica, es posible determinar la caracterización de las órbitas en las cercanías del mismo.

**16. Singularidades de cruce en circuitos eléctrico no lineales.** Diana Kleiman

En un sistema no lineal, un punto singular de cruce es un punto singular tal que existe al menos una solución que lo cruza. En este artículo estudiamos una familia de circuitos eléctricos no lineales, los cuales pueden ser representados por un sistema de Ecuaciones Diferenciales Implícitas -EDIs- y, encontramos condiciones que aseguran la existencia de singularidades de cruce en esos circuitos. Hay distintos enfoques de este problema para una EDI general dada, pero los resultados que obtuvimos para esta familia de circuitos permiten encontrarlos de una manera extremadamente sencilla. Ilustramos estos resultados con un ejemplo concreto.

**17. Análisis multifractal, V-estadísticos e indicadores de caos.** Alejandro Mesón

El objeto de esta comunicación es presentar algunos de los resultados obtenidos en el área de Sistemas Dinámicos, en las disciplinas de Análisis Multifractal para distintos sistemas, en particular para los llamados V-estadísticos o promedios

multiérgódicos, que consisten en promedios érgódicos (o de sumas de Birkhoff) para funciones de varias variables. Además se mostrarán resultados para indicadores de caos (entropías, complejidad de Kolmogorov).

El Análisis Multifractal consiste como, su nombre lo indica, en considerar varias estructuras fractales por medio de una descomposición del espacio fase en conjuntos de nivel de naturaleza fractal. El problema es describir tales conjuntos por medio de diversas funciones (entropía topológica, dimensión de Hausdorff, etc) que miden la dimensión de estos conjuntos que no tiene por qué ser entera.

Se trata de lograr una descripción cualitativa de sistemas dinámicos cuya complejidad hace imposible un estudio más detallado. Tal es el caso de la predicción del clima visto como la manifestación de un sistema dinámico muy complejo.

Se presentarán resultados acerca de la descripción de espectros multifractales, y además como relacionar los mencionados indicadores de caos para acciones de grupos especiales y considerando factores de escala.

#### **18. Un recorrido histórico por algunas concepciones del mundo.** Diego Petrucci

En este artículo se efectúa un recorrido histórico que tiene como eje a las ideas que desde la antigüedad han influido sobre nuestras concepciones del mundo, entendida en un sentido amplio, pero orientada a aquellas concepciones que han influido en las cosmologías, es decir en las concepciones científicas del universo. Nos referimos a preguntas como ¿De qué está hecho el universo? O ¿Qué es lo que existe? Las concepciones del mundo han ido históricamente definiendo tradiciones culturales que impregnan nuestra cultura y atraviesan las visiones científicas de cualquier disciplina. Este recorrido finaliza con la concepción de mecanicismo del s. XX. Lo haremos además considerando que nuestro interés se centra en la enseñanza de las ciencias naturales. La concepción del mundo que tenga un ciudadano es determinante del lugar que le otorgará a las ciencias, por ejemplo, en la toma de decisiones o en sus intentos de comprender cuestiones que le preocupen

#### **19. Visualización de límites de funciones de dos variables.** Laura del Río

Matemática A es una asignatura de primer año de las carreras de ingeniería que se dictan en la Universidad Nacional de La Plata, República Argentina. En la misma, se abordan contenidos de Cálculo Diferencial en una y más variables, entre ellos, el concepto de límite de una función en un punto. Al trabajar en una variable, la representación gráfica de funciones continuas y con distintos tipos de



discontinuidad ayuda a la comprensión de este concepto. Sin embargo, a la hora de estudiar límites de funciones de dos variables, la gran dificultad para representar a estas gráficamente hace que el trabajo se torne exclusivamente algebraico, obstaculizando la comprensión. En esta presentación, se comparte un objeto de aprendizaje creado con GeoGebra, diseñado con el fin de contribuir con el aprendizaje del concepto de límite de una función de dos variables.

## **20. Enseñanza por investigación: estudio del cálculo vectorial en la Universidad.**

Viviana Costa

En este trabajo con modalidad de taller, destinado a docentes e investigadores en Didáctica de la Matemática que se desempeñen en especial en el nivel universitario, se abordan los principales lineamientos de la denominada Enseñanza por Investigación (EI) propuesta por Chevallard con el propósito de enfrentar el Paradigma Monumentalista en el marco de la Teoría Antropológica de lo Didáctico (TAD). En una primera etapa se trabaja con los participantes en torno a las siguientes preguntas: ¿Cuáles son las problemáticas actuales en la enseñanza de la matemática en la universidad? ¿Por qué es necesario cambiar de una enseñanza Monumentalista a una por Investigación? ¿Cuáles características tiene una EI? ¿Cuáles herramientas proporciona la TAD para desarrollar una EI? Luego, a modo de ejemplo se presenta el diseño, implementación y análisis de una EI implementada en una Facultad de Ingeniería para el estudio del Cálculo Vectorial. Finalmente se propone a los participantes realizar una actividad en grupos con el fin de elaborar una propuesta que permita introducir en una institución la EI para el estudio de un tema a determinar, cerrando el taller con una reflexión sobre las posibilidades actuales de implementar este tipo de enseñanza o algunos gestos característicos de ella.

## **21. Software y registro de representación semiótica en el aprendizaje del concepto de cálculo integral.** Fabiana Pauletich

Los campos vectoriales constituyen una noción fundamental en el estudio de diversos temas matemáticos y extra matemáticos en las carreras de Ingeniería. Para que los alumnos puedan comprender este concepto, se considera imprescindible que logren realizar conversiones entre diversos registros de representación de los campos vectoriales, evitando el encapsulamiento en un único registro. Cabe preguntarse entonces en qué medida las actividades que se proponen habitualmente a los alumnos en un curso de Cálculo Vectorial en una Facultad de Ingeniería, promueven las conversiones de registros, qué estrategias ponen en juego estos estudiantes para lograr estas conversiones, y cuál puede ser

el rol de un software graficador. El trabajo de investigación que se propone consta de varias etapas y donde se adopta como marco teórico la Teoría de los registros de representación semiótica de Duval. En el presente trabajo, se expondrá la primera etapa de la investigación, en la que interesa identificar dificultades que puedan tener los alumnos en el trabajo con diversas representaciones de campos, caracterizar los procedimientos utilizados por los estudiantes en la resolución de actividades, y en este contexto determinar las ventajas y dificultades de la visualización en un software graficador.

## **22. Experimentos de conducción de calor empleados como procedimiento de contrastación en regímenes Transitorio y Permanente.** Eugenio Devece y Fabián Videla

El propósito de este trabajo es doble: por un lado se presenta el contraste de regímenes permanente y transitorio de sensores de temperatura desarrollados en nuestra Facultad contra otros comerciales (marca Vernier) y por otro, considerando la fase actual del desarrollo de los prototipos, se analiza su potencial para elaborar un laboratorio y/o demostración en la temática referida a conducción de calor, empleando un Sistema de Adquisición de datos de Temperatura a tiempo real empleando sensores propios y comerciales. Las experiencias realizadas fueron: mediación del enfriamiento del agua y la medición de la resistencia térmica de un bloque de aluminio en estado permanente y transitorio por medio del ajuste de la ecuación de flujo de calor y de la ecuación de conducción de calor de Fourier.

## **23. Magnetismo cuántico en sistemas de baja dimensión: motivación y métodos.** Carlos Lamas

En este trabajo estudiamos la evolución de una fase de dímeros cuánticos sobre la red de tipo panal de abejas utilizando una representación de los operadores de espín en términos de operadores bosónicos [1,2]. Este modelo ha sido propuesto para describir las propiedades del material  $\text{Bi}_3\text{Mn}_4\text{O}_{12}(\text{NO}_3)$  [2,3,4], por lo que el presente estudio puede ser relevante para describir el magnetismo de este material y otros con características similares. Llevando a cabo un desacoplamiento de campo medio, calculamos la relación de dispersión y a partir de la misma determinamos el gap de espín. Interesantemente, aunque el cierre de gap es calculado en un modelo puramente cuántico, éste ocurre sobre una curva continua en el espacio de momentos que coincide con la variedad de estados clásicos de mínima energía [5]

### Referencias

- [1] S. Sachdev and R. N. Bhatt; Phys. Rev. B 41 (1990) 9323.
- [2] H. Zhang, C. A. Lamas, M. Arlego, and W. Brenig; Phys. Rev. B 93 (2016) 235150.
- [3] O. Smirnova, M. Azuma, N. Kumada, Y. Kusano, M. Matsuda, Y. Shimakawa, T. Takei, Y. Yonesaki, and N. Kinomura; Journal of the American Chemical Society 131 (2009) 8313.
- [4] M. Matsuda, M. Azuma, M. Tokunaga, Y. Shimakawa, and N. Kumada; Phys. Rev. Lett. 105 (2010) 187201.
- [5] A. Mulder, R. Ganesh, L. Capriotti, and A. Paramekanti; Phys. Rev. B 81 (2010) 214419.
- [6] Hao Zhang, C. A. Lamas; Phys. Rev. B 87 (2013) 024415.
- [7] D.C. Cabra, C.A. Lamas, H.D. Rosales; Phys. Rev. B 83 (2011) 094506
- [8] Hao Zhang, M. Arlego, C. A. Lamas; Phys. Rev. B 89 (2014) 024403

### **24. El observatorio de rayos Gamma Hawc.** Patricia Hansen

El Observatorio de rayos gamma HAWC (High Altitude Water Cherenkov) se encuentra en la base del volcán Sierra Negra, a 6 km de la cima del Pico de Orizaba, en el estado de Puebla, México. Consta de una superficie de 20.000 m<sup>2</sup> cubierta con tanques de agua equipados con fotomultiplicadores (PMTs) sensibles a la luz. El observatorio está situado a una altitud de aproximadamente 4.100 m sobre el nivel del mar. HAWC fue diseñado para estudiar el origen de rayos gamma de muy alta energía en un rango desde 100 GeV hasta 100 TeV, que son producidos en los objetos más energéticos del Universo. En esta charla se dará una pequeña introducción a la física y astronomía que abarca HAWC. También se presentará el diseño del detector y se describirán los primeros resultados y metas científicas del experimento.