

Ing. Jaime Calderón Segovia
Rector
Escuela Politécnica Nacional
Presente.

30 de marzo de 2015

**Informe anual de actividades
del Centro de Modelización Matemática (MODEMAT)**

De mi consideración,

Conforme al Art. 13 del Reglamento de Funcionamiento del Centro de Modelización Matemática (MODEMAT), pongo en su conocimiento, en calidad de Miembro del Directorio, las acciones realizadas en el segundo año de actividades del Centro.

Proyectos de investigación SENESCYT

En el segundo año de funcionamiento del Centro, se dio continuidad a los dos proyectos de investigación financiados por SENESCYT e iniciados en julio del 2013. Estos son:

- *Simulación numérica del sistema cardíaco y circulatorio*. Director: Dr. Sergio González-Andrade. Monto: **53.998,50 USD**.
- *Desarrollo e implementación de modelos matemáticos de optimización para el sistema Metrobús-Q*. Director: Dr. Luis M. Torres. Monto: **66.904,00 USD**.

También se dio continuidad a los proyectos aprobados y desarrollados previamente en conjunto con Institutos Públicos de Investigación:

- *Sistema de Pronóstico del Clima y el Tiempo para todo el Territorio Ecuatoriano: Modelización Numérica y Estadística*. Director: Dr. Juan C. De los Reyes. Monto **2.131.152,00 USD**.

Este proyecto inició en el mes de octubre del 2013, con el objetivo de contar con un sistema de predicción meteorológica fiable. Los pronósticos se efectúan diariamente y se los puede acceder en la página web del MODEMAT.

- *Modelo de predicción de cosechas mediante métodos espaciales y espectrales*

Este proyecto se llevó a cabo en conjunto con el *Instituto Espacial Ecuatoriano*, con el objetivo de desarrollar métodos para predicción de cosechas y métodos de procesamiento de imágenes satelitales. El proyecto concluyó en diciembre del 2014 con la presentación, por parte del MODEMAT, de un modelo estadístico de predicción de cosechas y nuevos métodos para el procesamiento de imágenes satelitales.

Adicionalmente, sobre la base de los prometedores resultados alcanzados en el proyecto conjunto con el INAMHI, se formuló y se logró la aprobación, por parte de la SENESCYT, de un proyecto que busca perfeccionar el sistema de pronóstico meteorológico desarrollado previamente, mediante la integración de técnicas avanzadas de asimilación de datos. El proyecto es el siguiente:

- *Sistema de Pronóstico del Clima y el Tiempo para todo el Territorio Ecuatoriano. Fase 2: Asimilación de Datos y Operación de los Modelos de Predicción Desarrollados.* Director: Dr. Juan C. De los Reyes. Monto: [431.170,00 USD](#)

Proyectos de investigación con financiamiento internacional

En el mes de noviembre del 2014 se llevó a cabo en Lima la reunión anual de la red MATHAmSud, con la participación de representantes de Argentina, Brasil, Chile, Francia, Paraguay, Perú, Uruguay, Ecuador y Venezuela. En esta reunión se debieron evaluar 2 proyectos de investigación presentados por el Centro de Modelización Matemática en conjunto con otras universidades sudamericanas y francesas.

Sobre la base del juicio de pares expertos, el Comité Científico MATHAmSud recomendó la aprobación de ambos proyectos, la cual fue acogida por el Comité Directivo. La puesta en marcha de estos 2 proyectos de investigación es un paso muy importante que da el MODEMAT en su estrategia de posicionamiento internacional, y permitirá afianzar las relaciones de colaboración científica con otros actores importantes en Sudamérica y Francia.

Los proyectos son los siguientes:

- *Sparse Optimal Control of Differential Equations: Algorithms and Applications.* Juan C. De los Reyes (coordinador Ecuador y coordinador internacional), Pedro Gajardo (coordinador Chile) y Patrick Combettes (coordinador Francia). Monto aproximado de financiamiento: [35.000,00 USD](#).

Este proyecto, planteado en conjunto con la Universidad Técnica Federico Santa María (Chile) y la Université Pierre et Marie Curie-Paris VI (Francia), trata acerca del diseño de algoritmos para la obtención de controles óptimos dispersos en el control de ecuaciones diferenciales ordinarias, ecuaciones en derivadas parciales e inclusiones variacionales. Este tipo de controles se caracterizan por actuar en dominios localizados y su aproximación requiere de la solución eficiente de problemas no-diferenciables y no-convexos a gran escala.

- *Packing versus Covering: Structural Aspects*. Graciela Nasini (coordinadora Argentina y coordinadora internacional), Annegret Wagler (coordinadora Francia) y Luis M. Torres (coordinador Ecuador). Monto aproximado de financiamiento: **35.000,00 USD**.

Este proyecto, en conjunto con la Universidad de Rosario (Argentina) y la Universidad Blaise Pascal (Francia), consiste en el estudio de propiedades estructurales de los problemas combinatorios de empaquetamiento y recubrimiento, los cuales tienen una relación de dualidad entre sí. En especial, se busca una descripción detallada de los poliedros que caracterizan el espacio de soluciones de estos problemas.

De manera adicional, el pasado 5 de diciembre se dio la aprobación del proyecto de investigación:

- *AM2V-MODEMAT Network on Optimization and Control* planteado en conjunto entre el MODEMAT y el Grupo de Análisis y Modelamiento Matemático (AM2V) de la Universidad Técnica Federico Santa María. Coordinador general: Dr. Juan Peypouquet. Monto: **26.403,00 USD**.

Este proyecto será financiado por el CONICYT de Chile y contempla tanto el financiamiento de movilidad científica, como la organización de eventos académicos conjuntos, posibilitando una estrecha colaboración entre estos dos centros de investigación.

Proyectos de investigación con financiamiento EPN

En la convocatoria 2014 de Proyectos Multi-e Interdisciplinarios y de Proyectos Semilla, el MODEMAT se asoció con algunas unidades a nivel interno, para la presentación de proyectos de investigación conjuntos. Se presentaron y aprobaron los siguientes proyectos:

- *Desarrollo de algoritmos para reconstrucción de árboles filogenéticos*. Director: Dr. Luis Miguel Torres, Monto: **75.155,00 USD**.

Este proyecto involucra el trabajo de un equipo interdisciplinario de investigadores del MODEMAT, del Instituto de Biología de la EPN y del Departamento de Biología de la Universidad Católica del Ecuador (PUCE). Su objetivo es desarrollar algoritmos para la reconstrucción de árboles filogenéticos, implementarlos computacionalmente, y evaluar su rendimiento.

- *Estimación óptima de parámetros reológicos de flujos volcánicos a partir de imágenes de alta resolución*. Directora: Silvana Hidalgo, Subdirector: Dr. Juan C. De los Reyes. Monto: **80.000,00 USD**.

Este proyecto conjunto entre MODEMAT e Instituto Geofísico de la EPN consiste en segmentar computacionalmente las imágenes de alta resolución de lava volcánica, producidas a través de cámaras térmicas en el volcán Tungurahua, para luego

obtener mediciones de las velocidades de los flujos. Estas servirán de base en un problema de estimación óptima de parámetros, para obtener una estimación adecuada de los parámetros reológicos que se ajusten al comportamiento observado.

- *Flujos de materiales viscoplásticos en la industria alimenticia: modelización matemática, simulación numérica y optimización.* Director: Dr. Sergio González, Subdirectora: Dra. Jenny Ruales. Monto: **79.763,00 USD**.

Este proyecto se enfocará en la simulación y optimización del modelo de fluidos de Herschell-Bulkley. Estos materiales aparecen en gran cantidad de aplicaciones industriales: fabricación de comida procesada como pastas o jaleas, fabricación de polímeros, etc. Un cabal conocimiento de estos materiales y su modelización y simulación matemática permitirá optimizar varios procesos industriales. En particular, la fabricación y potenciación nutricional de ciertos alimentos.

- *Asimilación de datos satelitales e in-situ para modelos de predicción de oleaje para la costa ecuatoriana.* Director: Jesús Portilla, Subdirector: Dr. Juan C. De los Reyes. Monto: **79.570,00 USD**.

El objetivo del presente proyecto es desarrollar una nueva metodología para la asimilación de datos tanto de satélites como de mediciones in-situ para el modelo de predicción de oleaje WaveWatchIII. El desarrollo de herramientas de predicción es un tema de relevancia práctica y científica, sobre cuya base se busca atender necesidades más aplicadas, como los problemas de erosión, sedimentación, inundación, y en términos más generales el manejo integrado de la zona costera ecuatoriana.

- *Optimización del cálculo de horarios de clase para la Escuela Politécnica Nacional.* Director: Dr. Luis Miguel Torres. Monto aproximado **12.500,00 USD**.

Este proyecto se desarrolla con el auspicio del Rectorado de la Escuela Politécnica Nacional y consiste en la implementación de un sistema computacional para optimizar los horarios de las asignaturas, así como el uso de aulas en esta institución. El proyecto culminará a fines de este mes y los resultados serán presentados en los próximos días, con información de instancias de prueba.

- *Optimización de estrategias de control de malaria en el territorio ecuatoriano mediante modelos de control óptimo y simulación matemática.* Director: Dr. Pedro Merino. Monto aproximado **10.000,00 USD**.

En este proyecto se propone el diseño y simulación de un modelo de control óptimo de ecuaciones SEIR (Susceptibles-Expuestos-Infectados-Removidos) para las dos poblaciones de interés: humanos y mosquitos. Se utilizarán variables de control que representan las estrategias tales como fumigación y disminución de la tasa de transmisión de la enfermedad, que consisten en la aplicación de mosquiteros tratados con pesticida de larga y corta duración.

Investigadores postdoctorales

Con el fin de fortalecer las capacidades científicas, el Centro ha vinculado investigadores

posdoctorales a través del programa *Prometeo* de la SENESCYT. Los investigadores vinculados al MODEMAT en el año transcurrido:

- Dr. Van-Chung Cao, experto en la implementación en paralelo de problemas a gran escala relacionados con el procesamiento de imágenes y problemas *ill-posed*. Su trayectoria incluye importantes contribuciones metodológicas y aplicadas, así como experiencia previa en el análisis computacional de imágenes satelitales.
- Dr. Daniel González, especialista en el área de métodos numéricos tipo Newton para problemas en espacios funcionales. En su trayectoria científica ha trabajado en el análisis de estos métodos bajo hipótesis débiles de regularidad.
- Dr. Tuomo Valkonen, experto en el área de análisis funcional convexo y su aplicación a problemas de imágenes. Su trayectoria incluye contribuciones importantes en el área de procesamiento de imágenes, sobre todo en cuanto al desarrollo de la regularización Total Generalized Variation.

Publicaciones científicas

En este último año de funcionamiento del Centro se ha fortalecido su capacidad de producción científica con altos estándares. A continuación se detallan artículos científicos publicados a nombre de MODEMAT en revistas ISI/SCOPUS, así como los reportes técnicos generados.

Los artículos publicados son:

1. *One shot methods in function space for PDE-constrained optimal control problems*. Autores: L. Kaland, J.C. De los Reyes and N. Gauger. Optimization Methods and Software, Vol. 29, 376-405, 2014.
2. *A nonsmooth model for discontinuous shear thickening fluids: analysis and numerical solution*. Autores: Juan Carlos De los Reyes and Georg Stadler. Interfaces and Free Boundaries, Vol. 16, 575-603, 2014.
3. *Dynamic sampling schemes for optimal noise learning under multiple nonsmooth constraints*. Autores: L. Calatroni, J.C. De los Reyes and C.B. Schönlieb. In: System Modeling and Optimization, C. Poetsche, C. Heuberger, B. Kaltenbacher, F. Rendl (Eds.), 85-95, Springer-Verlag, 2014.
4. *Second-order approximation and fast multigrid solution of parabolic bilinear optimization problems*. Autores: Alfio Borzi and Sergio González Andrade. Advances in Computational Mathematics, DOI 10.1007/s10444-014-9369-9, 2014.

5. *Extending the applicability of Newton's method for k -Fréchet differentiable operators in Banach spaces.*
Autores: D. González and I.K. Argyros
Applied Mathematics and Computation, Vol. 234, 167–178, 2014.
6. *Optimal control of electrorheological fluids through the action of electric fields.*
Autores: Juan Carlos De los Reyes and Irwin Yousept
Computational Optimization and Applications, DOI 10.1007/s10589-014-9705-5, 2014.
7. *An adaptive numerical method for semi-infinite elliptic control problems based on error estimates.*
Autores: Pedro Merino, Ira Neitzel and Fredi Troeltzsch
Optimization Methods and Software, DOI:10.1080/10556788.2014.932789, 2014.

Los reportes técnicos son:

1. M.B. Heredia and L.M. Torres
An Integer Programming Model for Scheduling Classes at the Escuela Politécnica Nacional in Quito
2. L.M. Torres, R. Torres, M. Flores, R. Pineda and E. Zúñiga
A bus scheduling model for a public transportation system in Quito
3. Luis Miguel Torres
Minor related row family inequalities for the set covering polyhedron of circulant matrices
4. P. Tolomei and L.M. Torres
Generalized minor inequalities for the set covering polyhedron related to circulant matrices
5. Pedro Merino
Finite element error estimates for an optimal control problem governed by the burgers equation.
6. J. Lellmann, D. Lorenz, C. Schönlieb and T. Valkonen
Imaging with Kantorovich-Rubinstein discrepancy
7. Tuomo Valkonen
The jump set under geometric regularisation. Part 1: Higher order approaches
8. Tuomo Valkonen
The jump set under geometric regularisation. Part 1: Basic technique and first-order denoising
9. J.C. De los Reyes, E. Loayza and P. Merino
Second-order orthant-based methods with enriched Hessian information for sparse l_1 - optimization

10. P. Merino, I. Neitzel and F. Troeltzsch
An adaptive numerical method for semi-infinite elliptic control problems based on error estimates
11. J.C. De los Reyes and C. Meyer
B-stationarity conditions for a class of optimization problems governed by variational inequalities of the 2nd kind
12. B. Silva and L.M. Torres
Acerca de una versión dinámica del problema de la mochila
13. M. Flores, R. Pineda, L.M. Torres and R. Torres
Un modelo de programación entera para la asignación de flota en el Sistema de Transporte Metrobús-Q
14. S. González Andrade
A preconditioned descent algorithm for variational inequalities of the second kind involving the p-Laplacian operator.

Infraestructura

Otro punto de importancia estratégica para el Centro es el funcionamiento del *Laboratorio Nacional de Cálculo Científico*, el cual se encuentra ubicado en el *Datacenter* del nuevo Edificio de Aulas y Relación con el Medio Externo (EARME). El laboratorio inició su funcionamiento con el servidor adquirido gracias a los dos proyectos SENESCYT iniciales del MODEMAT. Posteriormente se incorporó un potente servidor correspondiente a un proyecto SENESCYT del INOCAR y un servidor correspondiente al proyecto conjunto con el INAMHI.

En este último año se adquirió un sistema de enfriamiento para el Datacenter, el cual no poseía la mínima estructura como para acoger a un servidor de alto rendimiento. Este sistema incluyó un rediseño arquitectónico, el levantamiento de la obra física, la adecuación del sistema eléctrico y la instalación del sistema de enfriamiento. El monto total de inversión ascendió a **89.500,00 USD**, el cual fue cubierto con fondos externos.

Adicionalmente a los dos servidores previamente instalados y acoplados, se realizó la adquisición de nuevos equipos como parte de un proceso de repotenciación del ya existente (por un monto de **228.197,26 USD**). Con los nuevos equipos adquiridos, la capacidad de cómputo asciende a alrededor de **15 teraflops**, con lo cual se ha logrado dotar al *Laboratorio Nacional de Cálculo Científico* de una capacidad de cálculo en paralelo única en el país y necesaria para la simulación de fenómenos tan complejos como los meteorológicos.

Organización de eventos

- En el mes de febrero del 2015 se llevó a cabo en la EPN la *Escuela Latinoamericana de Verano en Investigación Operativa - ELAVIO 2015*. La escuela fue organizada por el MODEMAT con el apoyo de la SENESCYT, la Sociedad Ecuatoriana de Matemática, la Asociación Latino-Iberoamericana de Investigación Operativa, la empresa pública Yachay E.P. y la Unión Matemática Internacional (IMU). El

objetivo de dichas escuelas consiste en potenciar el desarrollo de la investigación operativa en la región. La escuela contó con la participación de 57 estudiantes; 1 proveniente de Alemania, 5 de Argentina, 1 de Bélgica, 1 de Bolivia, 12 de Brasil, 8 de Chile, 7 de Colombia, 4 de Cuba, 7 de Ecuador, 1 de España, 4 de México, 5 de Perú y 1 de Venezuela.

- En el marco del *Encuentro de Matemática y sus Aplicaciones*, realizado en el mes de septiembre del 2014, el MODEMAT organizó un *workshop* sobre modelización numérica de fenómenos meteorológicos, en el cual participaron el INOCAR, el INAMHI y la EMAP-Q. En el evento se pudo tener una mejor idea del trabajo que realiza cada una de las instituciones presentes y coordinar posibles colaboraciones futuras.
- Conjuntamente con la SENESCYT y Yachay E.P., el MODEMAT organizó el primer *Congreso Nacional de Ingeniería Biomédica y Modelización Matemática en Biociencias*, el cual tuvo lugar en Quito, del 4 al 6 de junio del 2014. El evento posicionó al país como un lugar de investigación importante en estas áreas temáticas. Se presentaron 3 charlas por parte del MODEMAT (una de ellas plenaria y otra que obtuvo premio por mejor presentación) y 2 posters.
- El MODEMAT, conjuntamente con el Departamento de Matemática de la EPN y la Sociedad Ecuatoriana de Matemática, organiza el Seminario de Investigación en Matemática. En este espacio se exponen semanalmente los principales resultados de investigación de científicos nacionales y visitantes.

Apoyo a programas de posgrado Cumpliendo con uno de los objetivos del Centro, establecido en su reglamento de funcionamiento, se han llevado a cabo algunas actividades de apoyo a los programas de posgrado de la EPN.

En particular, el MODEMAT estuvo activamente involucrado en el diseño, seguimiento y aprobación de los programas de *Doctorado en Matemática Aplicada* y *Maestría de Investigación en Optimización Matemática*. La aprobación de estos programas se dio a mediados del 2014 y su lanzamiento se lo hizo en el mes de septiembre del 2014 en las instalaciones de la EPN, con el apoyo logístico del MODEMAT.

En la actualidad los programas están a punto de arrancar, para lo cual el MODEMAT ha involucrado a los doctorantes y maestrantes a los proyectos de investigación que se desarrollan y ha puesto a disposición, en la medida de sus posibilidades, estaciones de trabajo, para que la investigación se pueda desarrollar en un óptimo ambiente académico.

Tesis desarrolladas En el período que comprende este informe se desarrollaron y culminaron exitosamente las siguientes tesis de grado relacionadas con proyectos de investigación del Centro:

1. *Métodos generalizados de Newton para la simulación numérica del flujo de Casson en una tubería*. Autor: David Bastidas. Director: Dr. Sergio González.

2. *Flujo laminar de fluidos de Herschel-Bulkley: Modelización Matemática y simulación numérica.* Autor: Sintya Serrano. Director: Dr. Sergio González.
3. *Modelo de programación lineal entera para la generación de horarios de clase en la universidad.* Autor: María Belén Heredia. Director: Dr. Luis M. Torres.
4. *Métodos de segundo orden para la resolución numérica de problemas de optimización dispersos.* Autor: Estefanía Loayza. Director: Dr. Pedro Merino.
5. *Método de Newton para la simulación numérica del Modelo de Houska.* Autor: Javier Núñez. Director: Dr. J.C. De los Reyes.
6. *Métodos de Optimización para la Segmentación Numérica de Imágenes usando el Modelo de Chan-Vese.* Autor: Evelyn Cueva. Director: Dr. J.C. De los Reyes.
7. *Eliminación del ruido en imágenes a través de un problema de optimización binivel con parámetro polinomial.* Autor: Diego Garzón. Director: Dr. J.C. De los Reyes.

Relaciones interinstitucionales

- En el mes de marzo del 2014 el MODEMAT firmó un acuerdo con el *Servicio Meteorológico Alemán (Deutscher Wetterdienst)* para la utilización del Software COSMO en la predicción numérica del tiempo. Esto posibilitará tener una predicción más robusta del comportamiento atmosférico.
- En el mes de marzo del 2014 el Centro firmó un convenio de cooperación científica con la *Universidad del Azuay*, con el objetivo principal de dar soporte a los programas de posgrado en matemática de esa universidad.
- En el mes de enero del 2015 el Centro firmó un acuerdo de cooperación científica con el Departamento de Matemáticas de la *Escuela Politécnica del Litoral (ESPOL)*, el cual contempla el intercambio académico, la organización de eventos conjuntos y la codirección de tesis de posgrado.

Posicionamiento

- El pasado mes de febrero se llevó a cabo el evento de incorporación de nuevos miembros de la Academia de Ciencias del Ecuador, en el cual el MODEMAT tuvo el honor de contar con la incorporación de dos de sus miembros. Se trata del Dr. Juan C. De los Reyes y el Dr. Luis Miguel Torres.
- Por su importancia académica, cabe destacar la invitación al Dr. Sergio González para ser *Profesor Visitante* en la Universidad de Hamburgo y dictar un curso sobre *Optimización de Sistemas Complejos*. La estadía del Dr. González tuvo lugar en los meses de verano del 2014.

- La principal estrategia de posicionamiento del centro ha tenido lugar en el campo científico, con la participación de investigadores asociados al MODEMAT como ponentes en diferentes eventos de carácter internacional (Alemania, Argentina, Chile, Corea, Estados Unidos, Perú, Uruguay).
- Un aspecto importante en la estrategia de posicionamiento científico consiste en tener un activo programa de visitas de reconocidos investigadores, con los cuales se intercambien ideas y se planifiquen trabajos y proyectos conjuntos. En este último año hemos recibido las siguientes visitas:
 1. Dr. Christoph Buchheim
Technical University of Dortmund, Germany
Febrero 2015
 2. Dr. Graciela Nasini
Universidad Nacional de Rosario, Argentina
Febrero 2015
 3. Dr. Carola-Bibiane Schönlieb
University of Cambridge, UK
Febrero 2015
 4. M.Sc. Luca Calatroni
University of Cambridge, UK
Febrero 2015
 5. Dr. Winnifried Wollner
University of Hamburg, Germany
Enero 2015
 6. Dr. Tuomo Valkonen
University of Cambridge, UK
Enero 2015
 7. Dr. Christian Meyer
Technical University of Dortmund, Germany
Diciembre 2014
 8. Dr. Carlos Castillo-Chávez
Arizona State University, USA
Junio 2014
 9. Dr. Chamakuri Nagaiah
RICAM, Austria
Junio 2014
 10. Dr. Leon Arriola
University of Wisconsin-Whitewater, USA
Junio 2014

- Como parte de la estrategia de posicionamiento mediático, se ha logrado la cobertura de *Diario El Comercio* acerca de los proyectos de investigación del MODEMAT. También, con ese mismo objetivo, se participó en una entrevista conjunta con el Econ. René Ramirez en el programa *Pensamiento Crítico* del canal *Ecuador TV*.
- El MODEMAT continúa con su campaña de posicionamiento en internet, la cual incluye su página web www.modemat.epn.edu.ec (actualizada recientemente), así como cuentas activas en Twitter y Facebook. Se creó también un canal en *Vimeo*, con el objetivo de subir a la red los videos más interesantes que se generan en los trabajos de investigación.

Atentamente,

Prof. Juan Carlos De los Reyes, PhD
Director del Centro de Modelización Matemática