

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN GRUPAL PIGR-19-02
"Métodos multimalla para la resolución numérica de problemas de optimización no suave y aplicaciones a la ingeniería"

En la ciudad de Quito D.M., a los cuatro días del mes de agosto del año dos mil veintitrés, comparecen a la celebración de la presente Acta de Finalización del Proyecto de Investigación Grupal **PIGR-19-02 "Métodos multimalla para la resolución numérica de problemas de optimización no suave y aplicaciones a la ingeniería"**, por una parte, la **Dra. Alexandra Patricia Alvarado Cevallos** en calidad de **Vicerrectora de Investigación, Innovación y Vinculación** de la Escuela Politécnica Nacional, y por otra el **Dr. Sergio Alejandro González Andrade** en calidad de **Director del Proyecto de Investigación Grupal PIGR-19-02**, al tenor de lo siguiente:

1. ANTECEDENTES:

- a) El 17 de septiembre de 2019, al amparo de lo dispuesto por Consejo de Investigación, Innovación y Vinculación - CIIV, mediante Resolución RCIPS-124-2019, se aprueba el cronograma de la Convocatoria para la presentación de Proyectos de Investigación, Vinculación y Transferencia Tecnológica del 2019. El 15 de octubre de 2019, mediante Resolución RCIPS-153-2019, se aprueba la modificación al cronograma.
- b) El 3 de marzo de 2020, al amparo de lo dispuesto por Consejo de Investigación, Innovación y Vinculación, mediante Resolución RCIIV-028-2020, se aprobó el *"Informe Final de los Proyectos de Investigación de la Convocatoria 2019"*, donde se muestran los resultados y los proyectos aprobados de la Convocatoria 2019. Entre los proyectos aprobados se encuentra el Proyecto de Investigación Grupal denominado *"Métodos multimalla para la resolución numérica de problemas de optimización no suave y aplicaciones a la ingeniería"*, presentado por el Dr. Sergio González.
- c) Mediante Memorando EPN-VIIV-2020-0299-M del 6 de marzo del 2020, el Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Vinculación, notifica a la Dirección del Centro de Modelización Matemática en áreas clave para el desarrollo (MODEMAT), la aprobación del Proyecto de Investigación Grupal PIGR-19-02 *"Métodos multimalla para la resolución numérica de problemas de optimización no suave y aplicaciones a la ingeniería"*, dirigido por el Dr. Sergio González.
- d) Mediante Memorando EPN-VIIV-2020-0318-M del 11 de marzo de 2020, el Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Vinculación, notifica al Dr. Sergio González que se ha aprobado la propuesta de Proyecto de Investigación Grupal *"Métodos multimalla para la resolución numérica de problemas de optimización no suave y aplicaciones a la ingeniería"*, y que se ha asignado el código PIGR-19-02 al proyecto.
- e) Mediante Memorando EPN-VIIV-2020-0555-M del 15 de abril del 2020, el Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Vinculación, notifica a los directores de los Proyectos de Investigación Grupales de la Convocatoria 2019, que la fecha de inicio es el 4 de mayo de 2020 y la fecha de finalización el 3 de mayo de 2022.
- f) Mediante Memorando EPN-CIIV-2022-0058-M del 23 de marzo de 2022, Consejo de Investigación, Innovación y Vinculación, notifica al Dr. Sergio González, director del Proyecto de Investigación Grupal PIGR-19-02, que con Resolución RCIIV-036-2022 del 22 de marzo de 2022, se ha aprobado la prórroga técnica del proyecto, por lo que la nueva fecha de finalización es el 3 de agosto de 2022.

2. DATOS GENERALES DEL PROYECTO:

Código de Proyecto	PIGR-19-02
Nombre del Proyecto	Métodos multimalla para la resolución numérica de problemas de optimización no suave y aplicaciones a la ingeniería
Director del Proyecto	SERGIO ALEJANDRO GONZALEZ ANDRADE
Codirector del Proyecto	PEDRO MARTIN MERINO ROSERO
Colaboradores del Proyecto	SOFIA ALEJANDRA LOPEZ ORDOÑEZ JUAN CARLOS DE LOS REYES BUENO
Unidad Ejecutora	Centro de Modelización Matemática en áreas clave para el desarrollo (MODEMAT)
Departamento del Director	Matemática (DM)
Líneas de Investigación	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis matemático y ecuaciones diferenciales • Modelización matemática de sistemas complejos
Objetivo	Desarrollar algoritmos de optimización multimalla suficientemente robustos para resolver problemas de optimización no suave a gran escala tales como flujos de materiales viscoplásticos y elastoviscoplásticos, filtrado de ruido en imágenes y control óptimo disperso
Duración del Proyecto	<ul style="list-style-type: none"> • Inicio: 4 de mayo del 2020 • Fin planificado: 3 de mayo de 2022 • Fin con prórroga técnica: 3 de agosto de 2022 • Duración total: 27 meses
Entrega del Informe Final	2 de marzo de 2023
Presupuesto asignado	\$ 49.963,12 USD
Presupuesto ejecutado	\$ 46.878,74 USD

3. INFORME FINAL:

Mediante Memorando EPN-PIGR-19-02-2023-0001-M del 2 de marzo de 2023, el Dr. Sergio González, Director del Proyecto de Investigación Grupal PIGR-19-02, presenta el Informe Final del Proyecto Grupal que dirige, mismo que es revisado por la Dirección de Investigación, que emite observaciones y solicitudes de cambio mediante Memorando EPN-DI-2023-0417-M del 18 de abril de 2023.

Mediante Memorando EPN-PIGR-19-02-2023-0002-M del 24 de abril de 2023, el Dr. Sergio González presente el Informe Final corregido del Proyecto de Investigación Grupal PIGR-19-02, mismo que se anexa y forma parte integrante del Acta de Finalización, cuyas conclusiones y productos generados son:

CONCLUSIONES:

- Se desarrollaron diversos algoritmos de optimización para la resolución de los problemas en estudio, con particular énfasis en los problemas de fluidos complejos y problemas de imágenes. En ese contexto, se concluye que los métodos de tipo bundle en combinación con los métodos BFGS y los métodos de región de confianza no suaves son los más prometedores, particularmente porque permiten alcanzar convergencias óptimas sin recurrir a técnicas de regularización.
- La implementación realizada de los algoritmos desarrollados permite concluir que para resolver problemas a gran escala es mejor utilizar plataformas como Python o librerías de tipo FEniCS. Estos son software no comercial que permite desarrollar librerías y códigos de forma eficiente.
- Aunque se han desarrollado algoritmos eficientes de optimización que pueden actuar como "smoothers" en un entorno Multigrid, los algoritmos de transferencia en mallas complejas siguen representando un desafío. Uno de los trabajos a seguir desarrollando es el uso de elementos

finitos ad-hoc, tipo Arnold-Falk-Winther, BDM o free-divergence FEM, los cuales permitirían mejorar estos problemas.

- El desafío mayor ha sido la implementación de los algoritmos de transferencia. Si bien se ha logrado una buena experiencia numérica con los algoritmos "smoothers", el entorno multigrad debe desarrollarse más. En particular, se deben explorar los entornos de paralelización adecuados para problemas acoplados.

PRODUCTOS:

- **Artículo publicado:** "A dual-mixed approximation for a Huber regularization of generalized p -Stokes viscoplastic flow problems"; González Andrade Sergio, Méndez Paúl E.; Computers and Mathematics with Applications (Indexado SCOPUS, Q1); ISSN: 08981221; abril 2022.
- **Artículo enviado para revisión:** "A Discontinuous Galerkin and Semismooth Newton Approach for the Numerical Solution of Bingham Flow with Variable Density"; González Andrade Sergio, Méndez Paúl E.; Computational Methods in Applied Mathematics (Indexado SCOPUS, Q2); ISSN: 16094840, 16099389; noviembre 2022.
- **Artículo enviado para revisión:** "A preconditioned deepest descent algorithm for a class of optimization problems involving the $p(x)$ -Laplacian operator"; Silva María de los Ángeles, González Andrade Sergio; Journal of Computational Mathematics (Indexado SCOPUS, Q2); ISSN: 02549409; noviembre 2022.
- **Tesis de Doctor en Matemática Aplicada:** "Bilevel Imaging Learning with Total Variation Regularization: Optimality Conditions and Trust-Region Solution Algorithms"; Villacís Proaño David Alejandro; URL: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/23455>; noviembre 2021.
- **Trabajo de titulación de Matemático:** "Un método de optimización de tipo bundle no diferenciable aplicado al flujo de materiales viscoplásticos"; Reyes Andrade Diego Xavier; URL: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/22266>; marzo 2022.

El director del proyecto, Dr. Sergio González, presenta además como productos del Proyecto de Investigación Grupal PIGR-19-02:

- **Presentación en evento nacional:** "A Semismooth Newton Approach for the Numerical Solution of the Bingham Flow with Temperature Dependent Parameters"; Sergio González Andrade (director); IFIP TC7 Conference on System Modeling and Optimization; Quito, Ecuador; septiembre 2021.
- **Planteamiento de Proyecto de mayor alcance:** "Desarrollo de métodos computacionales y estrategias de control para problemas acoplados que surgen en la mecánica de fluidos compleja"; Director: Sergio González. Objetivo: El objetivo central de este proyecto es el desarrollo de herramientas computacionales para la solución eficiente de sistemas acoplados que surgen en los problemas de flujo no isotérmico de materiales complejos y fluidos electroreológicos. Además, el desarrollo de estrategias prácticas de control de estos flujos a través de la temperatura o la intensidad de campos electromagnéticos. Presentado en la Convocatoria 2022 de Proyectos de Investigación, Vinculación y Transferencia Tecnológica de la Escuela Politécnica Nacional; diciembre 2022.
- **Tesis de Doctorado de Matemática Aplicada en elaboración:** "Optimization and variational techniques for nonsmooth problems arising in complex fluid mechanics"; Sofía López Ordóñez.

4. LIQUIDACIÓN ECONÓMICA:

El monto asignado al Proyecto de Investigación Grupal PIGR-19-02 fue de \$ 49.963,12 USD (*cuarentainueve mil novecientos sesentaitrés dólares americanos, con 12/100*), y se ejecutaron \$46.878,74 USD (*cuarentaiséis mil ochocientos setentaiocho dólares americanos, con 74/100*), conforme al detalle emitido por la Unidad de Gestión de Investigación y Proyección Social del Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Vinculación, que se adjunta a la presente Acta y forma parte íntegra de la misma.

5. FINALIZACIÓN:

Con la presente Acta se declara finalizado y cerrado el Proyecto de Investigación Grupal PIGR-19-02 "*Métodos multimalla para la resolución numérica de problemas de optimización no suave y aplicaciones a la ingeniería*".

Para constancia de lo ejecutado y por estar de acuerdo con el contenido de la presente Acta, las partes libre y voluntariamente suscriben la misma, en tres ejemplares de igual contenido, tenor y valor legal.

Dado en la ciudad de Quito, D.M. a los cuatro días del mes de agosto del año dos mil veintitrés.

Dra. Alexandra Alvarado
**Vicerrectora de Investigación,
Innovación y Vinculación**

Dr. Sergio González
**Director del Proyecto
PIGR-19-02**

sp/cc