

**PROYECTO MULTI E INTERDISCIPLINARIO PIMI-14-12**

***"Flujos de materiales viscoplásticos en la industria alimenticia: modelización matemática, simulación numérica y optimización"***

En la ciudad de Quito D.M., a los veinte y seis del mes de febrero del año dos mil veinte y uno, comparecen a la celebración de la presente Acta de Finalización del Proyecto de Investigación Multi e Interdisciplinario **PIMI-14-12: "Flujos de materiales viscoplásticos en la industria alimenticia: modelización matemática, simulación numérica y optimización"**, 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 PIMI-14-12**, al tenor de lo siguiente:

**1. ANTECEDENTES:**

- El 28 de abril de 2014, al amparo de lo dispuesto por Consejo de Investigación y Proyección Social, se convocó al *"Concurso de Financiamiento para Proyectos de Investigación Multi e Interdisciplinarios 2014"*
- Una vez realizado el proceso de evaluación de los proyectos multi e interdisciplinarios presentados dentro de la convocatoria y de acuerdo a la Resolución Nro. 49 de la sesión extraordinaria del 13 de octubre de 2014 Consejo de Investigación y Proyección Social, resolvió la aprobación de 18 proyectos de investigación multi e interdisciplinarios entre ellos el denominado: *"Flujos de materiales viscoplásticos en la industria alimenticia: modelización matemática, simulación numérica y optimización"* presentado por el Dr. Sergio González.
- Mediante Memorando EPN-CIYPS-2014-0020-M del 24 de octubre de 2014, el Vicerrectorado de Investigación y Proyección Social notifica al Dr. Sergio González la aprobación del proyecto multi e interdisciplinario *"Flujos de materiales viscoplásticos en la industria alimenticia: modelización matemática, simulación numérica y optimización."*
- Mediante Memorando EPN-VIPS-205-0387 del 19 de marzo de 2015 el Vicerrectorado de Investigación y Proyección Social notifica al Dr. Sergio González, director del proyecto PIMI-14-12 que el inicio del proyecto es el 1 de abril de 2015 y finalizará el 30 de marzo de 2017.

**2. DATOS GENERALES DEL PROYECTO:**

<b>Código de Proyecto</b>	<i>PIMI-14-12</i>
<b>Nombre del Proyecto</b>	<i>Flujos de materiales viscoplásticos en la industria alimenticia: modelización matemática, simulación numérica y optimización</i>
<b>Director del Proyecto</b>	<i>Sergio Alejandro González Andrade</i>
<b>Colaboradores del Proyecto</b>	<i>Jenny Cumandá Ruales Nájera</i>
<b>Departamento</b>	<i>Matemática</i>
<b>Líneas de Investigación</b>	<i>Modelización Matemática y Calculo científico</i>
<b>Objetivo</b>	<i>Modelizar, simular y optimizar los fluidos viscoplásticos que aparecen en la industria alimenticia, especialmente aquellos ligados a la producción de jales, jugos, etc, de frutas con alto contenido de polifenoles.</i>

<b>Duración del Proyecto</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Inicio: 1 de abril de 2015</li><li>• Fin planificado: 30 de marzo de 2017</li><li>• Prórroga 1: hasta el 2 de julio de 2017</li><li>• Prórroga 2: hasta el 2 de enero de 2018</li><li>• Duración total: 27 meses</li></ul>
<b>Entrega del Informe Final</b>	17 de junio de 2020
<b>Presupuesto asignado</b>	\$ 86.855,00 USD
<b>Presupuesto ejecutado</b>	\$ 56.212,50 USD

### 3. INFORME FINAL:

Mediante Memorando Nro. EPN-PIMI-14-12-2020-0002-M del 16 de junio de 2020 el Dr. Sergio González, Director del Proyecto Multi e Interdisciplinario PIMI-14-12, presenta el Informe Final del Proyecto, mismo que es revisado por la Dirección de Investigación y que se anexa y forma parte integrante del Acta de Finalización, cuyas conclusiones y productos generados son:

#### CONCLUSIONES:

- La implementación de modelos numéricos basados en problemas industriales es una estrategia válida para simular, a bajo costo, fenómenos de difícil reproducción en laboratorio. Esta experiencia es fundamental en el planteamiento y desarrollo de nuevos proyectos interdisciplinarios.
- Los fluidos viscoplásticos representan un marco amplio para la simulación de fluidos en la industria alimenticia. En el caso de este proyecto, el modelo de Herschel-Bulkley es lo suficientemente versátil como para representar los cambios en el comportamiento de las soluciones de jugos de frutas al ser sometidos a procesos como pasteurización o concentración de azúcares. Sin embargo, al no tomar en cuenta en la formulación inicial del proyecto los fenómenos asociados a los cambios de temperatura, hemos tenido limitaciones en estas representaciones. Estos fenómenos no isotermales deben ser analizados en futuras propuestas.
- La validación, mediante problemas de estimación de parámetros de los modelos matemáticos, a partir de los datos obtenidos en el laboratorio, es un proceso clave para obtener modelos precisos y confiables.
- Es necesario analizar modelos para el flujo dependiente de la temperatura de estos materiales. Esto es particularmente importante cuando se pretende simular procesos de industrialización como pasteurización, congelamiento, etc.
- Es necesario validar los resultados teóricos con la información obtenida en el laboratorio. Para esto es fundamental analizar problemas de optimización y estimación de parámetros cada vez más sofisticados.
- La simulación de fluidos es una línea de investigación multidisciplinaria que requiere a varios actores coordinados. Esto es, matemáticos, ingenieros mecánicos y químicos, entre otros. Además, se deberían coordinar esfuerzos para constituir laboratorios enfocados en estos fenómenos.

## PRODUCTOS:

- Artículo publicado: *A Multigrid Optimization Algorithm for the Numerical Solution of Quasilinear Variational Inequalities Involving the  $p$ -Laplacian*; Sergio González Andrade, PhD.; Sofía López Ordóñez, MSc.; Computers and Mathematics with Applications (SJR - Q1); Publicado Octubre de 2017.
- Artículo publicado: *A Preconditioned Descent Algorithm for Variational Inequalities of the Second Kind Involving the  $p$ -Laplacian Operator*; Sergio González Andrade, PhD.; Computational Optimization and Applications, (SJR - Q1); Publicado Julio de 2016.
- Presentación de la ponencia: *Convective flow of Andean fruit jellies: numerical simulation and optimization.*; Sergio González Andrade; 18th International Workshop on Numerical Methods for Non-Newtonian Fluids; 12-16 de Junio 2017; Canadá Vancouver.
- Presentación de la ponencia: *Preconditioned Descent Algorithm for a Class of VIs of the Second Kind Involving the  $p$ -Laplacian Operator*; Sergio González Andrade; STIC and MATH-AmSud Seminar; 11-12 de Noviembre de 2015; Ecuador – Quito.
- Presentación de la ponencia: *MG/OPT Methods for Large-Scale Optimization Problems Arising in Viscoplastic Fluids Simulation*; Sergio González Andrade; 6th Workshop Viscoplastic Fluids from Theory to Applications; 25-30 de Octubre de 2015; Canada – Banff.
- Presentación de la ponencia: *MGOPT Methods for Optimization Problems Arising in Non-Newtonian Fluids Simulation*; Sergio González Andrade; 5th European Multigrid Conference EMG; 9-12 de septiembre de 2014; Bélgica – Lovaina.
- Proyecto de Titulación: *Efecto de la pasteurización sobre las propiedades reológicas del néctar, pulpa y pulpa concentrada de mora.*; Andrea Estefanía Jurado Carcelén (Ingeniero Agro Industrial-2017) URL: <https://biblioteca.epn.edu.ec/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=48889>
- Proyecto de tesis de Posgrado: *A multigrid optimization approach for the numerical solution of a class of variational inequalities of the second kind*; Sofía Alejandra López Ordóñez (Tesis Maestría en Optimización Matemática-2017) URL: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/17378>

## 4. LIQUIDACIÓN ECONÓMICA:

El monto asignado al Proyecto Multi e Interdisciplinario PIMI-14-12 fue de \$ 86.855,00 USD (*Ochenta y seis mil ochocientos cincuenta y cinco dólares americanos con 0/100*), y se ejecutaron \$ 56.212,50 USD (*cincuenta y seis mil doscientos doce dólares americanos con 50/100*), 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 integrante de la misma.

## 5. FINALIZACIÓN:

Con la presente Acta se declara finalizado y cerrado el Proyecto Multi e Interdisciplinario PIMI-14-12 "Flujos de materiales viscoplásticos en la industria alimenticia: modelización matemática, simulación numérica y optimización".

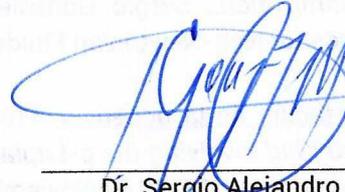
Para constancia de lo ejecutado y por estar de acuerdo con el contenido de la presente Acta, las partes libre y voluntariamente suscriben la misma, en tres ejemplares de igual contenido, tenor y valor legal.

Dado en la ciudad de Quito, D.M. a los veinte y seis del mes de febrero del año dos mil veinte y uno.



Dra. Alexandra Alvarado  
Vicerrectora de Investigación,  
Innovación y Vinculación

ms/cc/np



Dr. Sergio Alejandro González  
Director del Proyecto  
PIMI-14-12