

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN DATOS INFORMATIVOS

TIPO DE CONVOCATORIA

Proyecto Interno Proyecto Semilla Proyecto Junior Proyecto Multi e Inter Disciplinario

Fecha de presentación (dd/mm/aa): 31/07/18

Título del proyecto: *(Revisar la guía para la presentación de las propuestas de los proyectos de investigación)*

Optimización “en línea” de flujo óptico para el procesamiento de imágenes y problemas inversos.

TIPOS DE INVESTIGACIÓN

Investigación básica

Investigación aplicada

DEPARTAMENTO(S) Y/O INSTITUTO:

1. Departamento de Matemática
2. Centro de Modelización Matemática

LÍNEA(S) DE INVESTIGACIÓN (verificable en el SAEW):

1. DM-A2-L4 Problemas inversos y procesamiento de imágenes ✓
2. DM-A2-L2 Optimización y Control ✓
3. DM-A2-L1 Análisis Numérico y Cálculo Científico ✓

RESUMEN DE INFORMACIÓN DEL DIRECTOR Y CODIRECTOR

<u>Director</u>					
Apellidos y nombres	No. de Cédula	HSS*	Departamento	Título de mayor nivel y mención.	No. ORCID
Valkonen, Tuomo Jukka Markus	175884011-8	10	Matemática	PhD “con elogio”	0000-0001-6683-3572

<u>Codirector</u> <i>(Se aplica para todos los proyectos, el codirector será a su vez colaborador)</i>					
Apellidos y nombres	No. de Cédula	HSS*	Departamento	Título de mayor nivel y mención.	No. ORCID
De Los Reyes Bueno, Juan Carlos	1706583174	3	Matemática	PhD	

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Proyecto Interno Proyecto Semilla Proyecto Junior Proyecto Multi e Inter Disciplinario

Investigación Básica

Investigación Aplicada

DEPARTAMENTO(S) Y/O INSTITUTO:

1. Departamento de Matemática
2. Centro de Modelización Matemática

LÍNEA(S) DE INVESTIGACIÓN (verificable en el SAEW):

1. DM-A2-L4 Problemas inversos y procesamiento de imágenes
2. DM-A2-L2 Optimización y Control
3. DM-A2-L1 Análisis Numérico y Cálculo Científico

CAMPO DEL CONOCIMIENTO (Ver Anexo A: Detalle de los campos del conocimiento)

Campo amplio	Campo detallado	Campo específico
Ciencias Físicas, Ciencias Naturales, Matemáticas y Estadísticas	Matemáticas y Estadística	Matemáticas

DISCIPLINA CIENTÍFICA (Marque X, solamente una opción)

Ciencias Naturales y Exactas	X
Ingeniería y Tecnologías	
Ciencias Médicas	
Ciencias Agrícolas	
Ciencias Sociales	
Humanidades	

OBJETIVO SOCIOECONÓMICO (Marque X, solamente una opción)

Exploración y explotación del medio terrestre	
Ambiente	
Exploración y explotación del espacio	
Transporte, telecomunicaciones y otras infraestructuras	
Energía	
Producción y tecnología industrial	
Salud	
Agricultura	
Educación	
Cultura, ocio, religión y medios de comunicación	
Sistemas políticos y sociales, estructuras y procesos	
Defensa	
Avance general del conocimiento: I+D financiada con los Fondos Generales de Universidades (FGU)	X
Avance general del conocimiento: I+D financiados con otras fuentes	



Alcance Territorial (<i>Marque X, solamente una opción</i>)			
Institucional		Nacional	
Parroquial		Internacional	X
Cantonal		No definido	
Provincial			

1 Proyecto de Investigación
Título (mínimo 10 palabras): Optimización “en línea” de flujo óptico para el procesamiento de imágenes y problemas inversos.
Resumen del proyecto (máximo 200 palabras) <p>Técnicas modernas de imagen, como las que se usa en el campo de salud, dependen de la reconstrucción de la imagen de datos indirectos: de la resolución de un problema inverso. Además, el proceso físico de adquisición de los datos en varias de estas técnicas como la imagen por resonancia magnética es tan lenta que por el confort del paciente o los costos solo es posible obtener datos incompletos. La formación de la imagen o la serie de imágenes—en caso de problemas inversos dinámicos incluyendo el procesamiento de videos—de datos indirectos e incompletos depende de modelos matemáticos y físicos, y de algoritmos numéricos. En el caso de los problemas dinámicos la cantidad de datos y el tamaño de la solución representan desafíos computacionales.</p> <p>Con el fin de disminuir el uso de recursos computacionales, desarrollaremos métodos de optimización “en línea” para estas aplicaciones: a la llegada de nuevos datos, como un nuevo fotograma, mejoraremos la solución tomando un nuevo paso del algoritmo. En este proyecto aplicaremos los métodos al procesamiento de video, así como a su interpretación: el seguimiento de objetos. A largo plazo prevemos colaboraciones multidisciplinarias en los campos de salud y el monitoreo de procesos industriales.</p>
Palabras clave (4-6): Optimización; en línea; flujo óptico; problemas inversos; compressed sensing (ingl.); segmentación

2 Objetivos, limitaciones, hipótesis y resultados esperados de esta propuesta de investigación

2.1 Objetivos

2.1.1 Objetivo General

- Proponer nuevos métodos matemáticos rápidos para la reconstrucción e interpretación de series temporales de imágenes en manera “en línea”: con una vista limitada de las mediciones temporales en cada paso del algoritmo. Los métodos serán verificados numéricamente.

2.1.2 Objetivos Específicos

- a) Obtener una teoría de convergencia de métodos de optimización “en línea” que sea aplicable a problemas cuyas soluciones tienen características temporales.
- b) Proponer nuevos modelos matemáticos basados en flujo óptico para la reconstrucción e interpretación de imágenes.
- c) Basado en la teoría de convergencia, desarrollar algoritmos específicos que sean aplicables a la resolución numérica de los modelos propuestos y establecidos.
- d) Implementar el algoritmo propuesto y verificar su eficacia numéricamente



2.2 Limitaciones (Aspectos que quedan fuera del alcance del Proyecto de Investigación)

- Los modelos, algoritmos y teorías desarrollados serán aplicables a otros tipos de problemas inversos temporales gobernados por el flujo óptico u otra ecuación parcial diferencial. Nuestro propósito es desarrollar un proyecto Multi e Inter Disciplinario en otras aplicaciones después de terminado este proyecto que se concentra en los fundamentos matemáticos y aplicaciones en procesamiento de imágenes.
- Desarrollaremos método de optimización basados en nuestra experiencia con métodos primal-dual. Es posible desarrollar otros tipos de métodos y, si es que el método propuesto tiene limitaciones de convergencia, estos métodos pueden ser analizados en un proyecto posterior.

2.3 Hipótesis (Responden al problema de investigación)

- Métodos “en línea” permiten el procesamiento numéricamente eficiente de series de imágenes temporales por la razón de uso limitado de datos en cada paso de algoritmo.
- El acoplamiento de las imágenes en la serie por el flujo óptico ayuda a que el algoritmo, después de su convergencia inicial, avance siguiendo de cerca una solución que esté basada en datos completos.

2.4 Detalle de los resultados esperados (con relación a los objetivos)

- Una teoría de convergencia de métodos de optimización “en línea” para problemas con características temporales.
- Modelos matemáticos basados en flujo óptico para 1) la estabilización de imágenes tomadas por cámaras convencionales y de video y 2) para la reconstrucción y segmentación simultánea de series de imágenes con el fin de seguimiento de los objetos en los mismos.
- Métodos de optimización convexa y no convexa que permitan resolver numéricamente una clase de problemas con características temporales usando en cada paso del algoritmo solo una historia corta de datos.
- Resultados numéricos que indiquen la convergencia rápida de los métodos del literal c) con una buena calidad de reconstrucción de imágenes. Una prueba del concepto del uso de métodos de optimización “en línea” para la interpretación de imágenes por segmentación espacial-temporal.

3 Relevancia de la propuesta de investigación y su relación con la(s) líneas de investigación

La presente propuesta es relevante y concordante con las líneas de investigación del Departamento de Matemática (*Modelización matemática y calculo científico; Problemas inversos y procesamiento de imágenes; Optimización y Control*) y del Centro de Modelización Matemática (*Métodos de optimización para el procesamiento de imágenes*). La temática de este proyecto permitirá no solo fortalecer las líneas de investigación actualmente existentes, sino también sentar las bases para el desarrollo de nuevos temas de investigación que pueden ser multidisciplinarios.

Los problemas inversos, incluyendo el procesamiento de imágenes basado en modelos matemáticos, así como los métodos de optimización numérica son actualmente áreas de investigación donde se encuentra una gran actividad internacional. El desarrollo del presente proyecto permitirá contribuir con artículos científicos de calidad, con presentaciones en las mejores conferencias internacionales y así, debido a la buena trayectoria del equipo de investigadores, fortalecer la visibilidad internacional de la EPN. Más aún, el proyecto establecerá las condiciones para futuros resultados de innovación (industria de alta tecnología).

Cabe destacar que el investigador o la investigadora vinculada al proyecto formará parte de los programas de posgrado del Departamento de Matemática (Maestría en Optimización Matemática y Doctorado en Matemática Aplicada), fortaleciendo de esta manera la formación de posgrado de la EPN. Su tesis de posgrado se realizará dentro de la temática del presente proyecto.



4 Impacto de la investigación

4.1 Impacto Social (máximo 250 palabras)

Como se mencionó anteriormente bajo 'relevancia de la propuesta', el investigador o la investigadora vinculada al proyecto formará parte de los programas de posgrado del Departamento de Matemática, fortaleciendo de esta manera la formación de posgrado de la EPN. Mediante este el proyecto incrementará el nivel de educación en el Ecuador.

4.2 Impacto Económico (máximo 250 palabras)

A través de su tema en ciencia básica y matemática aplicada que está detrás de industrias de alta tecnología, así como su impacto en el incremento del nivel de educación en el país (vea se 4.1), el proyecto establecerá las condiciones para futuros resultados de innovación y emprendimiento en la industria de alta tecnología, por ejemplo en agentes autónomos y el monitoreo de procesos industriales.

4.3 Impacto Político (máximo 250 palabras)

El proyecto no tiene un aspecto político ni un impacto directo previsto en la política. Sin embargo, mediante sus impactos sociales, económicos y científicos, el proyecto podrá tener impacto indirecto en la política, por ejemplo, en el financiamiento de la ciencia y de la educación y en el soporte estatal para nuevas empresas e incubadoras de alta tecnología.

4.4 Impacto Científico (máximo 250 palabras)

El campo del proyecto se encuentra entre las dos áreas de investigación con una gran actividad internacional: los problemas inversos incluyendo el procesamiento de imágenes matemático, así como los métodos de optimización numérica. Sin embargo, la idea del uso de métodos de optimización "en línea" en el procesamiento de imágenes es completamente nuevo. Actualmente la resolución de problemas inversos dinámicos, incluyendo el procesamiento de series de imágenes basado en modelos matemáticos, necesita una gran potencia de cálculo. Por lo tanto, los resultados de este proyecto tendrán un gran impacto en esta área de investigación. Además, el proyecto contribuirá en el área de optimización mediante el desarrollo de nuevos métodos y teoría enfocadas en problemas no suaves con características de acoplamiento temporal.

4.5 Otro Impacto (máximo 250 palabras)

-

5 Productos esperados

Tipo de Producto:	Marcar con una "X"
a. Publicaciones científicas y/o patente (obligatorio);	X
b. Disertación a la comunidad politécnica;	X
c. Trabajo de titulación de acuerdo a lo que establece el Reglamento de Régimen Académico y la Normativa Interna de la EPN;	X
d. Aplicación tecnológica construida o implementada;	
e. Perfil de proyecto de mayor impacto científico, técnico, pedagógico o de innovación.	



6 Descripción, metodología y diseño del proyecto

Las técnicas modernas de procesamiento de imágenes, como las que se usa en el campo de salud, frecuentemente dependen de la reconstrucción de la imagen a partir de datos indirectos, es decir, de la resolución de un *problema inverso* [1]. Por ejemplo, las máquinas resonancia magnética (IRM) miden la transformada de Fourier de la imagen que nosotros, seres humanos, podemos observar [2]. De modo similar, los aparatos de tomografía axial computarizada miden la transformada de Radon de la imagen [1]. Adicionalmente, el proceso físico de adquisición de datos en varias de estas técnicas, como IRM, es tan lento que por el confort del paciente o los costos, solo es posible medir un subconjunto de los factores de la transformada, con lo cual se obtiene tan sólo una imagen incompleta [2]. Asimismo, en el monitoreo de fluidos en procesos industriales, el flujo del fluido causa restricciones temporales para la adquisición de los datos [3–5]. La técnica en la cual deliberadamente se toman medidas incompletas se conoce como *compressed sensing* en inglés [2].

En los últimos años esta última técnica ha encontrado también aplicaciones en fotografía convencional e incluso en la construcción de cámaras digitales de solo un píxel [6, 7]. De esta manera se puede reducir el costo del equipo, construyendo un sensor de baja resolución, pero con alta calidad de los píxeles. En las cámaras de video la técnica de *compressed sensing* ayuda a incrementar el número de fotogramas por segundo y, consecuentemente, la resolución [8, 9].

La reconstrucción de la imagen o de una serie de imágenes a partir de datos indirectos e incompletos depende de modelos matemáticos y de algoritmos numéricos. Los modelos usualmente se consideran en forma variacional, los cuales se resuelven con métodos de optimización [10]. Frecuentemente los modelos también tienen restricciones en la forma de una ecuación en derivadas parciales (EDP), la cual puede modelizar procesos físicos en la formación de los datos. En el caso del procesamiento de series de imágenes, la EDP se llama ecuación de *flujo óptico* o ecuación de transporte, y puede ser usada para acoplar las imágenes en el tiempo [10].

En el procesamiento de series de imágenes, la cantidad de datos y el tamaño de la solución presentan un desafío. Por ejemplo, un segundo de un vídeo a baja resolución de 1024×768 y 25 fotogramas por segundo involucra 19 millones de píxeles o variables; en algoritmos prácticos de tipo primal–dual aún más [11]. Los métodos convencionales de optimización tienen que procesar todas estas variables en cada paso y necesitan hasta miles de pasos para la convergencia, así que no son prácticos para el procesamiento de series de imágenes o la resolución de problemas inversos dinámicos como el monitoreo de procesos industriales en tiempo real. Por otro lado, las técnicas más *ad hoc*, no basadas en modelos físicos o matemáticos, sino en el procesamiento por bloques pequeños son necesarias. En la comunidad de optimización con restricciones de EDP se ha considerado la resolución de problemas “en tiempo real” [12, 13] basada en la idea de descomposición de dominios o, en otras palabras, la resolución exacta de subproblemas en bloques consecutivos, la condición inicial de los cuales será definida por la EDP y el bloque anterior. Esta técnica necesita recursos computacionales únicamente para la resolución exacta del subproblema de cada bloque.

Nuestro propósito es desarrollar métodos de optimización “en línea” para estas aplicaciones. La idea original surgió en la investigación de operaciones [14] como una manera de resolver problemas con datos incompletos: a la llegada de nuevos datos, se mejora la solución tomando un nuevo paso de descenso usando el gradiente. Si la aplicación a los modelos EDP fuera posible, estos métodos considerarían un paso de descenso de gradiente en cada bloque consecutivo y solo garantizarían convergencia después de un tiempo infinito. El descenso de gradiente estocástico (SGD), comúnmente usado para aprendizaje profundo (deep learning) [15], puede también ser interpretado como un método “en línea”.

Sin embargo, no podemos aplicar los métodos existentes directamente, por el hecho que asumen que las soluciones de todos los pasos del método tienen la misma interpretación: que son la misma imagen o la serie de imágenes la que se mejorará gradualmente basados en nuevos datos. Como ya hemos discutido, este enfoque necesitaría recursos computacionales inmensos. Nuestro objetivo es que las soluciones de todos los pasos del algoritmo sean consideradas como nuevas imágenes consecutivas de la serie, las cuales sean acopladas por el flujo óptico u otra EDP. Además, por lo hecho que los modelos matemáticos exitosos de imágenes no son suaves, nuestros métodos se basarán en métodos modernos de forma proximal y primal–dual [11].

En este proyecto aplicaremos los métodos desarrollados a problemas de procesamiento de imágenes, relacionados con fotografía y vídeo, y realizaremos la interpretación de los mismos. Con un cambio



relativamente pequeño, aunque numéricamente difícil, del modelo matemático, en vez de solo reconstruir una imagen o una serie de imágenes, se puede también segmentar las mismas [18, 19]. La segmentación describe objetos distintos en la imagen o en la serie de imágenes. Además de aplicaciones obvias en agentes autónomos, el proceso de segmentación es importante para el seguimiento de células para estudios biológicos y de salud [20, 21].

Diseño del proyecto

Dividiremos los objetivos del proyecto en varias actividades de la siguiente manera:

a) Empezaremos con el desarrollo de una teoría matemática de convergencia de métodos de optimización “en línea” que sea aplicable a problemas cuyas soluciones tienen características temporales.

b.1) Con el apoyo de a) desarrollaremos un método “en línea” primal–dual para problemas de optimización convexos no suaves. La convexidad determina que el problema no tenga soluciones locales que no sean soluciones globales.

c.1) Desarrollaremos el modelo de reconstrucción para un primer problema test: la estabilización de imágenes de cámaras convencionales. Para tomar buenas fotografías en luz baja, acoplaremos fotografías consecutivas de baja calidad mediante el flujo óptico. Para que el modelo sea convexo asumiremos que el campo de velocidad del flujo óptico es conocido. Asumiendo una escena estática se puede calcular una aproximación del campo usando la distancia focal y los giroscopios del equipo. Véase también [22], donde la estabilización se basa en la idea de registro de imágenes.

d.1) Implementaremos en una computadora el algoritmo de b.1) para el modelo de c.1) y verificaremos numéricamente la calidad de la reconstrucción. Aunque los métodos “en línea” no son en realidad necesarios para el modelo de estabilización, la experiencia con un modelo convexo nos ayudará a entender bien el algoritmo, antes de ahondar en modelos no convexos cuya solución es mucho más difícil.

b.2) Extenderemos el método de b.1) a una clase de problemas de optimización no convexa y no suave.

c.2) Desarrollaremos un modelo “compressed sensing” de reconstrucción de una serie de imágenes (vídeos). Para esto, ya no asumiremos que el campo de velocidad del flujo óptico es conocido. Para modelizar escenas complicadas con obstrucciones, también consideraremos la posibilidad de basar nuestro modelo en flujo óptico discontinuo [23], cuya implementación computacional presenta varios desafíos.

d.2) Implementaremos el algoritmo de b.2) para el modelo de c.2) y verificaremos numéricamente la calidad de la reconstrucción.

c.3) Desarrollaremos el modelo de reconstrucción para nuestro tercer problema prototipo: la reconstrucción y segmentación simultánea de series de imágenes de datos mediante “compressed sensing”. Lo más probable es que el modelo se base en la relajación de Chan–Vese [19] del modelo de Mumford–Shah [18].

d.3) Implementaremos el algoritmo de b.2) para el modelo de c.3) y verificaremos numéricamente la calidad de la segmentación, es decir, qué tan bien el algoritmo y el modelo detectan y siguen los objetos de la escena.

Base metodológica

El trabajo para conseguir los objetivos a) y b) será principalmente de análisis matemático en el área de *teoría de optimización no suave* [24], así como la teoría más especializada de métodos “en línea” y estocásticos [14, 25–29]. Para el desarrollo de los algoritmos previstos en el objetivo b) nos ayudarán especialmente los trabajos existentes acerca de métodos primal–dual convexos y no convexos [11, 16, 17]. La teoría de optimización estudia caracterizaciones de soluciones de problemas de minimización de funciones matemáticas, así como la convergencia de métodos iterativos para su resolución numérica. La teoría de regularización iterativa de *problemas inversos* nos podrá guiar por lo hecho de tener aspectos similares [30]. La parte teórica de problemas inversos estudia la convergencia de soluciones “regularizadas” cuando la calidad de los datos mejora.

El desarrollo de los modelos para el objetivo c) será *modelización matemática* basada en regularización de *problemas inversos*, así como los modelos existentes de *imagen matemática* [1, 10]. Para solucionar un problema inverso con datos incompletos se diseñan regularizadores que modelizan las soluciones esperadas. Estos pueden ser basados en ideas más analíticas, como el regularizador de variación total o igual de bien pueden ser basados en la estadística de datos reales como combinaciones gaussianas.



Bibliografía

1. Mueller, J. L., & Siltanen, S. (2012). *Linear and Nonlinear Inverse Problems with Practical Applications*. Philadelphia, PA: SIAM. doi:[10.1137/1.9781611972344](https://doi.org/10.1137/1.9781611972344)
2. Lustig, M., Donoho, D. L., Santos, J. M., & Pauly, J. M. (2008). Compressed Sensing MRI: A look at how CS can improve on current imaging techniques. *IEEE Signal Processing Magazine*, 25(2), 72-82. doi:[10.1109/MSP.2007.914728](https://doi.org/10.1109/MSP.2007.914728)
3. Tayler, A. B., Holland, D. J., Sederman, A. J., & Gladden, L. F. (2012). Exploring the origins of turbulence in multiphase flow using compressed sensing MRI. *Physical Review Letters*, 108, 264505. doi:[10.1103/PhysRevLett.108.264505](https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.108.264505)
4. Hunt, A. (2014). Weighing without touching: applying electrical capacitance tomography to mass flowrate measurement in multiphase flows. *Measurement and Control*, 47(1), 19-25. doi:[10.1177/0020294013517445](https://doi.org/10.1177/0020294013517445)
5. Benning, M., Gladden, L., Holland, D., Schönlieb, C.-B., & Valkonen, T. (2014). Phase reconstruction from velocity-encoded MRI measurements – A survey of sparsity-promoting variational approaches. *Journal of Magnetic Resonance*, 238, 26-43. doi:[10.1016/j.jmr.2013.10.003](https://doi.org/10.1016/j.jmr.2013.10.003)
6. Duarte, M. F., Davenport, M. A., Takhar, D., Laska, J. N., Sun, T., Kelly, K. F., & Baraniuk, R. G. (2008). Single-pixel imaging via compressive sampling. *IEEE Signal Processing Magazine*, 25(2), 83-91. doi:[10.1109/MSP.2007.914730](https://doi.org/10.1109/MSP.2007.914730)
7. Ming, Z., Meijing, Z., Fan, Y., Houde, W., & Wenhai, X. (2018). Infrared single-pixel video imaging for sea surface targets surveillance. *Journal of the Society for Information Display*, 25(12), 731-736. doi:[10.1002/jsid.621](https://doi.org/10.1002/jsid.621)
8. Iliadis, M., Spinoulas, L., & Katsaggelos, A. K. (2018). Deep fully-connected networks for video compressive sensing. *Digital Signal Processing*, 72, 9-18. doi:[10.1016/j.dsp.2017.09.010](https://doi.org/10.1016/j.dsp.2017.09.010)
9. Reddy, D., Veeraraghavan, A., & Chellappa, R. (2011). P2C2: Programmable pixel compressive camera for high speed imaging. En *CVPR 2011* (pp. 329-336). doi:[10.1109/CVPR.2011.5995542](https://doi.org/10.1109/CVPR.2011.5995542)
10. Scherzer, O. (Ed.). (2011). *Handbook of Mathematical Methods in Imaging*. New York: Springer. doi:[10.1007/978-1-4939-0790-8](https://doi.org/10.1007/978-1-4939-0790-8)
11. Chambolle, A., & Pock, T. (2011). A first-order primal-dual algorithm for convex problems with applications to imaging. *Journal of Mathematical Imaging and Vision*, 40, 120-145. doi:[10.1007/s10851-010-0251-1](https://doi.org/10.1007/s10851-010-0251-1)
12. Biegler, L., Ghattas, O., Heinkenschloss, M., Keyes, D., & Waanders, B. (2007). *Real-Time PDE-Constrained Optimization*. SIAM.
13. Jerez, J. L., Goulart, P. J., Richter, S., Constantinides, G. A., Kerrigan, E. C., & Morari, M. (2014). Embedded Online Optimization for Model Predictive Control at Megahertz Rates. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 59(12), 3238-3251. doi:[10.1109/TAC.2014.2351991](https://doi.org/10.1109/TAC.2014.2351991)
14. Zinkevich, M. (2003). Online convex programming and generalized infinitesimal gradient ascent. En *Proceedings of the 20th International Conference on Machine Learning (ICML-03)* (pp. 928-936).
15. LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature*, 521(7553), 436-444. doi:[10.1038/nature14539](https://doi.org/10.1038/nature14539)
16. Valkonen, T. (2014). A primal-dual hybrid gradient method for non-linear operators with applications to MRI. *Inverse Problems*, 30(5), 055012. doi:[10.1088/0266-5611/30/5/055012](https://doi.org/10.1088/0266-5611/30/5/055012)
17. Clason, C., & Valkonen, T. (2017). Primal-dual extragradient methods for nonlinear nonsmooth PDE-constrained optimization. *SIAM Journal on Optimization*, 27(3), 1313-1339. doi:[10.1137/16M1080859](https://doi.org/10.1137/16M1080859)
18. Mumford, D., & Shah, J. (1989). Optimal approximations by piecewise smooth functions and associated variational problems. *Communications on Pure and Applied Mathematics*, 42(5), 577-685. doi:[10.1002/cpa.3160420503](https://doi.org/10.1002/cpa.3160420503)
19. Vese, L. A., & Chan, T. F. (2002). A Multiphase Level Set Framework for Image Segmentation Using the Mumford and Shah Model. *International Journal of Computer Vision*, 50(3), 271-293. doi:[10.1023/A:1020874308076](https://doi.org/10.1023/A:1020874308076)



20. Möller, M., Burger, M., Dieterich, P., & Schwab, A. (2014). A framework for automated cell tracking in phase contrast microscopic videos based on normal velocities. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 25(2), 396-409. doi:[10.1016/j.jvcir.2013.12.002](https://doi.org/10.1016/j.jvcir.2013.12.002)
21. Grah, J. S., Harrington, J. A., Koh, S. B., Pike, J. A., Schreiner, A., Burger, M., ... Reichelt, S. (2017). Mathematical imaging methods for mitosis analysis in live-cell phase contrast microscopy. *Methods*, 115, 91-99. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ymeth.2017.02.001>
22. Zhou, J., Hubel, P., Tico, M., Schulze, A. N., & Toft, R. (2016). Image registration methods for still image stabilization. US Patent 9,384,552.
23. Valkonen, T. (2011). Transport equation and image interpolation with SBD velocity fields. *Journal de mathématiques pures et appliquées*, 95, 459-494. doi:[10.1016/j.matpur.2010.10.010](https://doi.org/10.1016/j.matpur.2010.10.010)
24. Beck, A. (2017). *First-Order Methods in Optimization*. Philadelphia, PA: SIAM. doi:[10.1137/1.9781611974997](https://doi.org/10.1137/1.9781611974997)
25. Hazan, E. (2016). Introduction to Online Convex Optimization. *Foundations and Trends in Optimization*, 2(3-4), 157-325. doi:[10.1561/24000000013](https://doi.org/10.1561/24000000013)
26. Chen, N., Goel, G., & Wierman, A. (2018). Smoothed Online Convex Optimization in High Dimensions via Online Balanced Descent. En S. Bubeck, V. Perchet, & P. Rigollet (Eds.), *Proceedings of the 31st Conference On Learning Theory* (Vol. 75, pp. 1574-1594). PMLR.
27. Kwon, J., & Mertikopoulos, P. (2017). A continuous-time approach to online optimization. *Journal of Dynamics and Games*, 4(2), 125-148.
28. Wright, S. (2015). Coordinate descent algorithms. *Mathematical Programming*, 151(1), 3-34. doi:[10.1007/s10107-015-0892-3](https://doi.org/10.1007/s10107-015-0892-3)
29. Bousquet, O., & Bottou, L. (2008). The Tradeoffs of Large Scale Learning. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 20, 161-168.
30. Kaltenbacher, B., Neubauer, A., & Scherzer, O. (2008). *Iterative Regularization Methods for Nonlinear Ill-Posed Problems*. De Gruyter.

7 Infraestructura, equipos y fondos adicionales.

7.1 Infraestructura y equipos

- Indicar la infraestructura y equipos **disponibles** para la ejecución del proyecto, con la ubicación actual de los mismos

Infraestructura	Equipos	
Laboratorio	Nombre del Equipo	Ubicación del Equipo
Laboratorio Nacional de Cálculo Científico	HPC-MODEMAT	Planta baja del EARME

7.2 Breve justificación del equipo requerido

- Justificar la infraestructura y equipos **solicitados** para la ejecución del proyecto e indicar el departamento en el cual se ubicará dicho equipamiento.

1) La computadora de escritorio del director del proyecto, del año 2012, ya no es capaz de ejecutar software actual, mucho menos hacer computaciones numéricas. Se hará cálculos y experimentos preliminares en la computadora de escritorio para verificar los códigos, algoritmos y modelos desarrollados en el proyecto antes de la ejecución de experimentos extensivos en la infraestructura de cálculo científico. Por estas razones solicitamos una computadora de escritorio de especificaciones altas. El equipo estará ubicado en la oficina del director del proyecto, en el edificio de la Facultad de Ciencias.



2) El equipo blade que solicitados cumple el objetivo de montar una infraestructura mínima para la verificación experimental y la validación extensiva de modelos que consideraremos, incluyendo la verificación y comparación de nuestros algoritmos, que serán eficientes, contra algoritmos existentes. El equipo no requiere de un espacio grande para ser ubicado, por lo cual gestionaremos un sitio en uno de los laboratorios existentes en los Departamentos de Física y Matemática.

Además, el equipo blade solicitado servirá para complementar el sistema ya existente en el Laboratorio Nacional de Cálculo Científico, y poder, de esta manera, realizar cálculos computacionales y simulaciones numéricas de mayor envergadura.

7.3 Fondos Adicionales

- *Otros fondos de otros organismos (si los hubiere)*

AÑO 1

Título del proyecto

Optimización "en línea" de flujo óptico para el procesamiento de imágenes y problemas inversos.

Lista de Items	Cantidad	Unidad	Precio Unitario Referencial	Precio Total Referencial	Precio Unitario Referencial +Aporte IESS	Precio Total Referencial con IVA + Aporte del IESS
1 Contratación de servicios personales por contrato						
1.1 Ayudantes de investigación		mes	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
1.2 Prestación de servicios profesionales (Homologado Escala de remuneración de servidores publicos)	12	mes	\$ 1,212.00	\$ 14,544.00	\$ 1,357.44	\$ 16,289.28
Subtotal 1			\$ 1,212.00	\$ 14,544.00	\$ 1,357.44	\$ 16,289.28
Lista de Items	Cantidad	Unidad	Precio Unitario Referencial sin IVA	Precio Total Referencial sin IVA	Precio Unitario Referencial con IVA	Precio Total Referencial con IVA
2 Maquinaria y equipo especializado						
2.1 Item 1 (Detallar nombre de la maquinaria y equipos solicitado)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
2.2 Item 2 (Detallar nombre de la maquinaria y equipos solicitado)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
2.3 Item 3 (Detallar nombre de la maquinaria y equipos solicitado)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
2.4 Item 4 (Detallar nombre de la maquinaria y equipos solicitado)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
2.5 Item 5 (Detallar nombre de la maquinaria y equipos solicitado)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Subtotal 2			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
3 Equipo informático						
3.1 Computador de escritorio	1		\$ 5,380.00	\$ 5,380.00	\$ 6,025.60	\$ 6,025.60
3.2 Blade	1		\$ 19,500.00	\$ 19,500.00	\$ 21,840.00	\$ 21,840.00
3.3 Item 3 (Detallar nombre de la maquinaria y equipos solicitado)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
3.4 Item 4 (Detallar nombre de la maquinaria y equipos solicitado)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
3.5 Item 5 (Detallar nombre de la maquinaria y equipos solicitado)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Subtotal 3			\$ 24,880.00	\$ 24,880.00	\$ 27,865.60	\$ 27,865.60
4 Insumos y reactivos						
4.1 Item 1 (Detallar nombre de los insumos y reactivos)				\$ -	\$ -	\$ -
4.2 Item 2 (Detallar nombre de los insumos y reactivos)				\$ -	\$ -	\$ -
4.3 Item 3 (Detallar nombre de los insumos y reactivos)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
4.4 Item 4 (Detallar nombre de los insumos y reactivos)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
4.5 Item 5 (Detallar nombre de los insumos y reactivos)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Subtotal 4			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
5 Literatura especializada						
5.1 Literatura especializada en optimización matemática y problemas inversos	1		\$ 780.00	\$ 780.00	\$ 780.00	\$ 780.00
Subtotal 5			\$ 780.00	\$ 780.00	\$ 780.00	\$ 780.00
6 Salidas de campo y de muestreo						
6.1 Pasajes al interior			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
6.2 Viaticos y subsistencias al interior			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Subtotal 6			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
7 Ponencias nacionales, capacitaciones y/o visitas técnicas						
7.1 Pasajes al interior			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
7.2 Viaticos y subsistencias al interior			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Subtotal 7			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
8 Ponencias en el exterior, capacitaciones, y/o visitas técnicas						
8.1 Pasajes al exterior	2		\$ 2,500.00	\$ 5,000.00	\$ 2,800.00	\$ 5,600.00
8.2 Viaticos al exterior	1		\$ 3,032.15	\$ 3,032.15	\$ 3,032.15	\$ 3,032.15
Subtotal 8			\$ 5,532.15	\$ 8,032.15	\$ 5,832.15	\$ 8,632.15
9 Pago de inscripciones						
9.1 Pago de inscripciones al interior			-	\$ -	\$ -	\$ -
9.2 Pago de inscripciones al exterior	2		500.00	\$ 1,000.00	\$ 685.00	\$ 1,370.00
Subtotal 9			\$ 500.00	\$ 1,000.00	\$ 685.00	\$ 1,370.00
10 Pago de publicaciones y patentes						
10.1 Pago de publicaciones				\$ -	\$ -	\$ -
10.2 Pago de publicaciones al exterior			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
10.2 Pago de patentes			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Subtotal 10			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
TOTAL				\$ 49,236.15		\$ 54,937.03

AÑO 2

Título del proyecto

Optimización "en línea" de flujo óptico para el procesamiento de imágenes y problemas inversos.

Lista de Items		Cantidad	Unidad	Precio Unitario Referencial	Precio Total Referencial	Precio Unitario Referencial +Aporte IESS	Precio Total Referencial con IVA + Aporte del IESS
1 Contratación de servicios personales por contrato							
1.1	Ayudantes de investigación		mes	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
1.2	Prestación de servicios profesionales (Homologado Escala de remuneración de servidores publicos)	11	mes	\$ 1,212.00	\$ 13,332.00	\$ 1,357.44	\$ 14,931.84
Subtotal 1				\$ 1,212.00	\$ 13,332.00	\$ 1,357.44	\$ 14,931.84
Lista de Items		Cantidad	Unidad	Precio Unitario Referencial sin IVA	Precio Total Referencial sin IVA	Precio Unitario Referencial con IVA	Precio Total Referencial con IVA
2 Maquinaria y equipo especializado							
2.1	Item 1 (Detallar nombre de la maquinaria y equipos solicitado)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
2.2	Item 2 (Detallar nombre de la maquinaria y equipos solicitado)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
2.3	Item 3 (Detallar nombre de la maquinaria y equipos solicitado)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
2.4	Item 4 (Detallar nombre de la maquinaria y equipos solicitado)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
2.5	Item 5 (Detallar nombre de la maquinaria y equipos solicitado)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Subtotal 2				\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
3 Equipo informático							
3.1	Item 1 (Detallar nombre de la maquinaria y equipos solicitado)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
3.2	Item 2 (Detallar nombre de la maquinaria y equipos solicitado)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
3.3	Item 3 (Detallar nombre de la maquinaria y equipos solicitado)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
3.4	Item 4 (Detallar nombre de la maquinaria y equipos solicitado)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
3.5	Item 5 (Detallar nombre de la maquinaria y equipos solicitado)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Subtotal 3				\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
4 Insumos y reactivos							
4.1	Item 1 (Detallar nombre de los insumos y reactivos)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
4.2	Item 2 (Detallar nombre de los insumos y reactivos)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
4.3	Item 3 (Detallar nombre de los insumos y reactivos)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
4.4	Item 4 (Detallar nombre de los insumos y reactivos)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
4.5	Item 5 (Detallar nombre de los insumos y reactivos)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Subtotal 4				\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
5 Literatura especializada							
5.1	Item 1 (Detallar nombre del libro)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
5.2	Item 2 (Detallar nombre del libro)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
5.3	Item 3 (Detallar nombre del libro)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
5.4	Item 4 (Detallar nombre del libro)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
5.5	Item 5 (Detallar nombre del libro)			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Subtotal 5				\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
6 Salidas de campo y de muestreo							
6.1	Pasajes al interior			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
6.2	Viaticos y subsistencias al interior			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Subtotal 6				\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
7 Ponencias nacionales, capacitaciones y/o visitas técnicas							
7.1	Pasajes al interior			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
7.2	Viaticos y subsistencias al interior			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Subtotal 7				\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
8 Ponencias en el exterior, capacitaciones, y/o visitas técnicas							
8.1	Pasajes al exterior	2		\$ 2,500.00	\$ 5,000.00	\$ 2,800.00	\$ 5,600.00
8.2	Viaticos al exterior	1		\$ 3,141.30	\$ 3,141.30	\$ 3,141.30	\$ 3,141.30
Subtotal 8				\$ 5,641.30	\$ 8,141.30	\$ 5,941.30	\$ 8,741.30
9 Pago de inscripciones							
9.1	Pago de inscripciones al interior			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
9.2	Pago de inscripciones al exterior [conferencias]	2		\$ 500.00	\$ 1,000.00	\$ 685.00	\$ 1,370.00
Subtotal 9				\$ 500.00	\$ 1,000.00	\$ 685.00	\$ 1,370.00
10 Pago de publicaciones y patentes							
10.1	Pago de publicaciones			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
10.2	Pago de publicaciones al exterior			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
10.2	Pago de patentes			\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Subtotal 10				\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
TOTAL					\$ 22,473.30		\$ 25,043.14



VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN
PRESUPUESTO PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN



Título del proyecto

Optimización "en línea" de flujo óptico para el procesamiento de imágenes y problemas inversos.

Presupuesto consolidado sin IVA

AÑO	Contratación de servicios personales por contrato	Maquinaria y equipo especializado	Equipo informático	Insumos y reactivos	Literatura especializada	Salidas de campo y de muestreo	Ponencias nacionales, capacitaciones y/o visitas técnicas	Ponencias en el exterior, capacitaciones, y/o visitas técnicas	Pago de inscripciones	Pago de publicaciones y patentes	Total sin IVA
1	\$ 14,544.00	\$ -	\$ 24,880.00	\$ -	\$ 780.00	\$ -	\$ -	\$ 8,032.15	\$ 1,000.00	\$ -	\$ 49,236.15
2	\$ 13,332.00	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 8,141.30	\$ 1,000.00	\$ -	\$ 22,473.30
3	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
TOTAL	\$ 27,876.00	\$ -	\$ 24,880.00	\$ -	\$ 780.00	\$ -	\$ -	\$ 16,173.45	\$ 2,000.00	\$ -	\$ 71,709.45

Presupuesto consolidado con IVA

AÑO	Contratación de servicios personales por contrato	Maquinaria y equipo especializado	Equipo informático	Insumos y reactivos	Literatura especializada	Salidas de campo y de muestreo	Ponencias nacionales, capacitaciones y/o visitas técnicas	Ponencias en el exterior, capacitaciones, y/o visitas técnicas	Pago de inscripciones	Pago de publicaciones y patentes	Total con IVA
1	\$ 16,289.28	\$ -	\$ 27,865.60	\$ -	\$ 780.00	\$ -	\$ -	\$ 8,632.15	\$ 1,370.00	\$ -	\$ 54,937.03
2	\$ 14,931.84	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 8,741.30	\$ 1,370.00	\$ -	\$ 25,043.14
3	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
TOTAL	\$ 31,221.12	\$ -	\$ 27,865.60	\$ -	\$ 780.00	\$ -	\$ -	\$ 17,373.45	\$ 2,740.00	\$ -	\$ 79,980.17

DECLARACIÓN FINAL

TIPO DE PROYECTO

Proyecto Interno Proyecto Semilla Proyecto Junior Proyecto Multi e Interdisciplinario

TIPO DE INVESTIGACIÓN

Investigación básica Investigación aplicada

TÍTULO DEL PROYECTO

Optimización "en línea" de flujo óptico para el procesamiento de imágenes y problemas inversos.

DECLARACIÓN DEL DIRECTOR DEL PROYECTO

El equipo de investigadores, representado por el Director del Proyecto declara lo siguiente:

- Que el presente proyecto es una obra original de este equipo de investigadores y por tanto, asumimos la completa responsabilidad legal en caso de que un tercero alegue la titularidad de los derechos intelectuales del proyecto, exonerando a la EPN de cualquier acción legal que se derive por esta causa.
- Que el presente proyecto no ha sido presentado en ninguna convocatoria de otra institución pública o privada solicitando el financiamiento total del presupuesto. El incumplimiento será causal para que la propuesta sea descalificada de la convocatoria de la EPN.
- Que todos los bienes adquiridos en el proyecto permanecerán bajo la custodia y responsabilidad del director de proyecto.
- Que aceptamos que si el proyecto genera algún producto o procedimiento susceptible de obtener de derechos de propiedad intelectual, de los cuales se deriven beneficios, éstos serán compartidos entre los investigadores y la EPN.
- Que aceptamos conocer y cumplir con la normativa vigente para la gestión de proyectos de investigación.

Firma del Director del Proyecto

Nombre: Tuomo Valkonen

C.I.: 175884011-8

DECLARACIÓN DEL JEFE DE DEPARTAMENTO

Esta propuesta ha sido avalada por el Consejo del Departamento de Matemáticas en sesión del día 1 de agosto 2019 mediante resolución No. CM-2019-119

Las instalaciones, incluyendo personal, edificios, equipo y recursos financieros están a disposición del proponente y sus colaboradores de acuerdo con las especificaciones que se encuentran en esta propuesta.

Firma del Jefe del Departamento

Nombre: Sergio Couzillo

C.I.: 1704824932



*Se debe adjuntar el acta en el que conste la resolución que avala la propuesta de proyecto