

# Convocatoria de ayudas de Proyectos de Investigación

## MEMORIA TÉCNICA PARA PROYECTOS DE LA CONVOCATORIA DE I+D TIPO A ó B

### 1 RESUMEN DE LA PROPUESTA (Debe rellenarse también en inglés)

**INVESTIGADOR PRINCIPAL:** Javier Sánchez Pérez

**TITULO DEL PROYECTO:** Métodos Espacio-temporales para el Cálculo del Flujo Óptico

RESUMEN (debe ser breve y preciso, exponiendo sólo los aspectos más relevantes y los objetivos propuestos):

El objetivo de este proyecto es el de investigar sobre nuevos métodos para el cálculo del flujo óptico. El flujo óptico es uno de los temas básicos en el campo de la visión por ordenador, que consiste en detectar el movimiento que sufren los objetos de una escena a partir de una secuencia de imágenes. Durante los últimos años nuestro grupo de investigación ha dedicado mucho esfuerzo en la resolución de este problema, utilizando métodos variacionales que producen sistemas de ecuaciones en derivadas parciales. Las técnicas variacionales han demostrado encontrarse entre las técnicas más precisas y fiables que se conocen para el cálculo del flujo óptico. Recientemente, varios investigadores han empezado a profundizar en nuevos métodos que resuelven el problema utilizando términos de regularización espacio-temporales. Aunque son métodos que tienen una aplicabilidad limitada, puesto que están basados en la derivada temporal del flujo y sólo se pueden aplicar con desplazamientos cortos, han demostrado que se puede incrementar la precisión si se incluye información temporal. Con este proyecto pretendemos obtener una mejor comprensión del comportamiento del flujo óptico en secuencias de imágenes a través del tiempo. Intentaremos proponer modelos más generales que incluyan un amplio abanico de posibles desplazamientos. Desarrollaremos métodos variacionales que incluyan estos modelos y que permitan incrementar la robustez y precisión de los resultados. Con el fin de demostrar la eficiencia de los métodos implementaremos una aplicación en la que se podrán ejecutar los métodos desarrollados sobre secuencias de imágenes reales y sintéticas.

**PROJECT TITLE:** Spatio-temporal Methods for Optical Flow Estimation

SUMMARY:

The aim of this project is to investigate on new methods for the calculation of the optical flow. The optical flow is one of the most important subjects in the field of computer vision, and consists of detecting the movement that the objects of a scene undergo in a sequence of images. During the past few years our research group has dedicated a lot of effort in the resolution of this problem using variational methods that produce systems of partial differential equations. Variational techniques have demonstrated to be among the most precise and reliable techniques that are known for the calculation of the optical flow. Recently, several researchers have begun to investigate on new methods that solve the problem using spatio-temporal regularizing terms. Although these methods have a restricted applicability, due to the fact that they are based on the temporal derivative of the flow, they have demonstrated that the precision can be increased if temporary information is included. With this project we try to obtain a better understanding of the behaviour of the optical flow in a sequence of images. We will try to propose more general temporal models that include a broad range of possible displacements. We will develop variational methods that include these models and that allow to increase the reliability and precision of the results. With the aim of demonstrating the efficiency of the methods we will implement an application for the methods to be executed on real and synthetic sequences of images.

## 2. INTRODUCCIÓN

(máximo cinco páginas)

---

El cálculo del flujo óptico es uno de los temas fundamentales en el campo de la visión por ordenador. El flujo óptico es el desplazamiento aparente que sufren los pixels en una secuencia de imágenes. El objetivo del mismo consiste en determinar cómo se desplazan los objetos de una escena a través de una secuencia de imágenes. En las últimas dos décadas, ha atraído la atención de muchos investigadores y se han realizado muchos trabajos relacionados con el mismo.

A pesar del esfuerzo que se ha dedicado al problema del flujo óptico, todavía no se ha conseguido resolver satisfactoriamente. La complejidad de las imágenes reales hace que este problema sea de difícil resolución y, aunque ya existen métodos que suministran soluciones aceptables bajo ciertas condiciones, todavía quedan muchos aspectos por resolver.

Las aplicaciones del flujo óptico están muy diversificadas dentro del campo de la visión artificial. Es una base esencial para otro tipo de problemas, dentro de este campo, como pueden ser: la visión estereoscópica, la reconstrucción 3D de objetos, el guiado de robots, la detección de colisiones, la compresión de vídeo, el registrado de imágenes médicas, la estructura a partir del movimiento, la segmentación, el análisis de imágenes meteorológicas, el análisis de la dinámica de fluidos, la vigilancia y seguridad, la monitorización de objetos y otros.

En un prestigioso congreso internacional, relacionado con el campo de la visión por ordenador, se mencionan los siguientes temas como aplicaciones del flujo óptico: Real-time Vision, Active and Robot Vision, Visually Guided Robotics, Visual Navigation, Motion and Tracking, Stereo Vision and Structure from Motion, Matching Correspondence and Flow, Model-based Object tracking in Image Sequences, Tracking of People and Surveillance, Segment Cluster Tracking, Retrieval of 3D Objects from Video Sequences, Detecting 3D Objects Using Patterns of Motion and Appearance, Image-based Modeling and 3D Reconstruction.

Toda esta amplitud de aplicaciones nos da una idea de la importancia que tiene el flujo óptico dentro de esta área de investigación.

### Finalidad del proyecto

El objetivo principal del proyecto es el de investigar sobre nuevos métodos para el cálculo del flujo óptico en secuencias de imágenes que mejoren la eficacia de los métodos actuales. En particular, estamos interesados en explorar nuevos *métodos variacionales* que sigan en la línea de las técnicas que hemos desarrollado recientemente.

Los métodos variacionales para el cálculo del flujo óptico se encuentran entre las técnicas más robustas y precisas que se conocen. Generalmente, se suele proponer una energía global que, al minimizarla, genera un sistema de ecuaciones en derivadas parciales. Este sistema se traduce en un esquema numérico que se resuelve por medio de técnicas de análisis numérico estándares. La resolución del esquema numérico se implementa en un lenguaje de programación estándar. Uno de los aspectos interesantes de esta aproximación es que dota a todo el proceso de desarrollo de un formalismo matemático importante, que facilita su análisis desde los niveles más abstractos del planteamiento del problema, hasta los detalles más concretos de la implementación.

La gran mayoría de estos métodos se han aplicado, tradicionalmente, a pares de imágenes consecutivas, sin incluir información temporal. A estos métodos se les denomina "espaciales" en cuanto que sólo se tiene en cuenta el dominio espacial de la imagen para calcular el flujo óptico y no su dimensión temporal. Sólo en los últimos años se ha empezado a prestar mayor atención a los métodos que aprovechan la información temporal de secuencias completas. Los métodos temporales permiten avanzar un paso más en la búsqueda de técnicas eficaces que salven la dificultad que representa el análisis de escenas reales.

Motivado por los resultados obtenidos por otros investigadores, en este último año hemos comenzado a trabajar en métodos espacio-temporales que aprovechan la información de toda una

secuencia completa de imágenes, para proporcionar soluciones más congruentes del desplazamiento de los objetos presentes en la misma. Los resultados que hemos obtenido con estos trabajos son similares a los obtenidos por otros investigadores. Hasta el momento, se han propuesto modelos simples que son válidos sólo bajo ciertas restricciones, lo que nos lleva a pensar que todavía queda bastante camino por recorrer. Durante los últimos años, nuestro grupo de investigación ha obtenido una gran experiencia en el tema. Hemos desarrollado trabajos de gran calidad que han sido publicados en revistas con un alto índice de impacto y hemos participado en congresos de importante prestigio. También hemos colaborado con grupos de investigación punteros en este campo, con los que seguimos manteniendo una estrecha colaboración.

Este proyecto nos va a permitir seguir investigando en la misma línea y colaborar con los grupos líderes a nivel europeo. También va a contribuir a que sigamos especializándonos en un tema fundamental en el campo de la visión artificial como es el cálculo del flujo óptico. Actualmente estamos en disposición de abordar nuevos problemas que se sitúan en el límite del conocimiento y que está empezando a atraer a un buen número de grupos de investigación.

Actualmente, nuestro grupo colabora con otros grupos europeos dentro de un proyecto del VI Programa Marco de la Comunidad Europea, denominado FLUID. El objetivo de este proyecto es el desarrollo de nuevas técnicas para el procesado y evaluación de secuencias de imágenes relacionadas con complejos fenómenos de fluidos. Entre estas se encuentran las imágenes meteorológicas y un amplio grupo relacionado con la mecánica de fluidos, como pueden ser el desplazamiento de partículas a través de ciertos gases o líquidos, o el desplazamiento del aire al colisionar con algunos obstáculos. La temática base de este proyecto es también la del cálculo del flujo óptico, pero en este caso restringido a tipos de imágenes especiales relacionadas con la dinámica de fluidos. Nuestro grupo se encarga del trabajo relacionado con la estimación del desplazamiento 3D en fluidos.

El propósito del proyecto es desarrollar nuevos métodos para el cálculo del desplazamiento en secuencias de imágenes reales. Con la experiencia que hemos recabado en el proyecto FLUID, también deseamos continuar trabajando en esa línea, por lo que planteamos aplicar los métodos que desarrollemos a imágenes de fluidos de las que disponemos, y comparar los resultados con los obtenidos en ese proyecto.

### **Antecedentes y estado actual**

La mayoría de los métodos tradicionales se centran en el problema de estimar el desplazamiento de los objetos entre dos imágenes. Si se desea calcular el flujo óptico en una secuencia de más de dos imágenes, entonces se aplica el método a pares de imágenes consecutivas, obteniéndose un resultado final que sería la unión de los resultados parciales.

Nuestro proyecto se centra en el campo de las técnicas variacionales, en donde se propone una energía global que al minimizarla produce un sistema de ecuaciones en derivadas parciales. Estas ecuaciones se resuelven numéricamente a través de métodos estándares de resolución de sistemas de ecuaciones. Dos de los primeros trabajos en proponer este tipo de técnicas fueron los de Horn y Schunck [8] y de Lucas y Kanade [9]. Su método consistía en minimizar la diferencia entre la intensidad de los píxeles y la norma del gradiente del flujo. Los resultados obtenidos por estos autores fueron bastante prometedores, al mismo tiempo que introdujeron un marco unificado para el análisis de este tipo de problemas.

A partir de este trabajo han ido surgiendo nuevas propuestas que han mejorado sustancialmente este modelo y que han abierto nuevas líneas de investigación. Cabe destacar, por ejemplo, los trabajos de Anandan [4], Nagel y Enkelmann [12] y Deriche et al. [7].

Durante la realización de la tesis doctoral de D. Javier Sánchez, nuestro grupo desarrolló un método para el cálculo del flujo óptico [3] de estas características, que en aquel entonces se encontraba entre los más eficientes. También propusimos una extensión de este método [2] para el cálculo de la carta de disparidad (visión estereoscópica) cuyos resultados fueron también buenos. En el transcurso de estos pocos años, ese método ha sido superado por varios autores [6],[10], y nosotros también hemos desarrollado un nuevo método [1] en el que introducimos restricciones para imponer que el flujo resultante fuera simétrico.

Los primeros trabajos sobre métodos espacio-temporales fueron los de Nagel [11] y Black y Anandan [5]. El primero propuso una extensión de su operador direccional en el que se incluye la deriva temporal del flujo. El último desarrolló un método para el cálculo del movimiento incrementalmente suponiendo que los objetos pueden tener una aceleración. Las aceleraciones entre cada par de imágenes se promedian con el fin de obtener una estimación más robusta.

Recientemente, han aparecido nuevos trabajos que han incorporado la información temporal para mejorar los resultados. Uno de estos trabajos es el de Weickert y Schnörr [15]. Estos proponen un método en el que la regularización espacio-temporal se realiza de forma conjunta. Se tratan de igual forma las derivadas espaciales y temporales en el término de regularización. Este trabajo tiene sentido en secuencias de imágenes donde el desplazamiento de los objetos es continuo.

Un trabajo más reciente, que sigue en la misma línea del anterior, es el de Brox et al. [6]. El planteamiento de su método es muy similar. Las experiencias numéricas del mismo demuestran que la precisión de los métodos espacio-temporales es muy superior a los únicamente espaciales. Para las experiencias numéricas que se detallan en este trabajo, esta técnica ha proporcionado las soluciones más precisas que se conocen hasta la fecha.

Estos dos métodos se basan en la derivada temporal del flujo, con lo que son útiles cuando el desplazamiento de los objetos es pequeño, del orden de unos pocos pixels entre imágenes. Si el movimiento de los objetos en las imágenes es grande, estos dos métodos no introducen mejoras con respecto a las técnicas espaciales.

Motivados por estas reflexiones, miembros de nuestro grupo han desarrollado dos trabajos, [13] y [14], en los que se extiende esas técnicas al caso en el que aparecen desplazamientos largos. Los resultados que hemos obtenido están en la línea de los trabajos anteriores, con lo que hemos conseguido demostrar que la dimensión temporal también se puede aplicar en ámbitos más generales.

## Bibliografía

- [1] L. Alvarez, R. Deriche, T. Papadopoulos and J. Sánchez, "Symmetrical Dense Optical Flow Estimation with Oclusions Detection", *International Journal of Computer Vision*. Pendiente de publicación, 2006. Una versión simplificada del mismo ha sido publicado en ECCV 2002, LNCS, 2350, pp 721-736, Springer, 2002.
- [2] L. Alvarez, R. Deriche, J. Sánchez and J. Weickert. "Dense Disparity Map Estimation Respecting Image Discontinuities: A PDE and Scale-Space Based Approach", *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 13, pp. 3-21. 2002.
- [3] L. Alvarez, J. Weickert, and J. Sánchez, "Reliable Estimation of Dense Optical Flow Fields with Large Displacements", *International Journal of Computer Vision*, Vol. 39, 1 (2000) 41–56.
- [4] P. Anandan, "A Computational Framework and an Algorithm for the Measurement of Visual Motion", *International Journal of Computer Vision*, 2, pp. 283–310, 1989
- [5] M. J. Black and P. Anandan, "Robust dynamic motion estimation over time", In Proc.1991 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp 292–302, June 1991
- [6] T. Brox, A. Bruhn, N. Papenberg and J. Weickert, "High Accuracy Optical Flow Estimation Based on a Theory for Warping", In Proc. 8th European Conference on Computer Vision, Springer LNC 3024, Vol. 4, pp. 25–36, May 2004
- [7] R. Deriche, P. Kornprobst and G. Aubert, "Optical flow estimation while preserving its discontinuities: a variational approach", In Proc. Second Asian Conference on Computer Vision, Vol. 2, pp. 290–295, Dec. 1995
- [8] B. Horn and B. Schunck, "Determining Optical Flow", *Artificial Intelligence*, Vol. 17, pp.185–203, 1981
- [9] B. D. Lucas and T. Kanade, "An Iterative Image Registration Technique with an Application to Stereo Vision", Proc. DARPA Image Understanding Workshop, pp. 121-130, 1981.

- [10] E. Mémin and P. Pérez, "Hierarchical estimation and segmentation of dense motion fields", *International Journal of Computer Vision*, 46(2), pp. 129–155, 2002
- [11] H. H. Nagel, "Extending the 'oriented smoothness constraint' into the temporal domain and the estimation of derivatives of optical flow", *ECCV 90, Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 427, pp. 139–148, 1990
- [12] H. H. Nagel and W. Enkelmann, "An Investigation of Smoothness Constraints for the Estimation of Displacements Vector Fields from Image Sequences", *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.* 8, 565–593, 1986
- [13] A. Salgado and J. Sánchez, "A Temporal Regularizer for Large Optical Flow Estimation", *International Conference on Image Processing 2006*, October 2006
- [14] A. Salgado and J. Sánchez, "Optical Flow Estimation with Large Displacements: A Temporal Regularizer", *Cuadernos del Instituto Universitario de Ciencias y Tecnologías Cibernéticas*, N° 33, pp.1-22, 2006
- [15] J. Weickert and C. Schnörr, "Variational Optic Flow Computation with a Spatio–Temporal Smoothness Constraint", *Journal of Mathematical Imaging and Vision* 14, pp. 245–255, 2001

### Grupos de investigación

A continuación se mencionan algunos de los grupos de investigación más importantes que están relacionados con la temática de este proyecto de investigación. Asimismo, mencionamos, al final, un conjunto de autores que han contribuido significativamente al desarrollo de este campo.

*Grupo: Odysee, Organización: INRIA, País: Francia, Director: Olivier Faugeras*

*Temas de investigación: Métodos variacionales y ecuaciones en derivadas parciales aplicadas a la visión por ordenador, Observación del cerebro a través de la imaginería funcional, Modelización de la actividad cortical.*

*Descripción: Es uno de los grupos más relevantes en el campo de la visión por ordenador en Europa. Anteriormente, el grupo se llamaba Robotvis. Con el cambio de nombre han iniciado una nueva línea de investigación relacionada con el estudio de la actividad cortical. Han realizado muchos trabajos sobre distintos temas de la visión por ordenador, centrándose especialmente en los métodos variacionales. Hemos colaborado con ellos en varios trabajos de investigación relacionados con la visión estereoscópica y el flujo óptico. Los trabajos los hemos realizado con Rachid Deriche (subdirector del grupo) y Theodore Papadopoulos. Actualmente hemos desarrollado un artículo con ellos, que está en la última etapa del proceso de revisión, y que muy probablemente se publicará en el *International Journal of Computer Vision* a principios del próximo año.*

*Grupo: MIA, Organización: Universidad de Saarland, País: Alemania, Director: Joachim Weickert*

*Temas de investigación: Aplicación de las ecuaciones en derivadas parciales y de métodos variacionales al procesamiento de imágenes y a la visión por ordenador. Flujo óptico, Segmentación de imágenes, Visión estereoscópica, Realizado de imágenes, etc.*

*Descripción: Es un grupo de reciente formación. El director del grupo es uno de los investigadores que tiene más experiencia en el tema de los métodos variacionales aplicados a la estimación del flujo óptico. En los últimos años hemos colaborado en diversos trabajos, con publicaciones en algunas de las revistas científicas más importantes. Uno de nuestros estudiantes de doctorado se encuentra realizando una estancia en este grupo con el fin de completar su formación y de desarrollar un trabajo en común. Joachim Weickert ha participado en algunos de los trabajos más recientes que avalan la hipótesis en que se basa este proyecto.*

*Grupo:* CVGPR, Computer Vision, Graphics, and Pattern Recognition Group, *Organización:* Universidad de Mannheim, *País:* Alemania, *Director:* Christoph Schnörr

*Temas de investigación:* Aplicación de las ecuaciones en derivadas parciales y de métodos variacionales al procesamiento de imágenes y a la visión por ordenador. Flujo óptico, Segmentación de imágenes, Reconocimiento de objetos, Procesamiento de imágenes médicas, Procesamiento de imágenes de fluidos.

*Descripción:* Tienen bastante experiencia en la aplicación de técnicas variacionales tanto al cálculo del flujo óptico como a otros aspectos tales como la segmentación de imágenes, el reconocimiento de objetos, etc. Han realizado varios trabajos relacionados con el cálculo del desplazamiento en secuencias de imágenes de fluidos. Mantienen una estrecha colaboración con el grupo de investigación MIA (Joachim Weickert). Actualmente participa, junto con nuestro grupo, en el proyecto FLUID del VI Programa Marco.

*Grupo:* VISTA, *Organización:* IRISA / INRIA, *País:* Francia, *Director:* Patrick Bouthémy

*Temas de investigación:* Medición del desplazamiento y la deformación en imágenes meteorológicas por satélite, imágenes médicas y visualización en mecánica de fluidos, Visión por robot, Sistemas de vigilancia, Indexado de video basado en contenidos.

*Descripción:* Es el grupo de investigación que lidera el proyecto FLUID del VI Programa Marco en el que también participa nuestro grupo de investigación. Tienen una amplia experiencia en el cálculo del flujo óptico en secuencias de imágenes de fluidos (imágenes meteorológicas, desplazamiento de partículas en líquidos, etc.). Algunos de sus investigadores han colaborado con Christoph Schnörr (director del grupo CVGPR) en artículos sobre dinámica de fluidos en visión por ordenador. Etienne Memin, uno de sus investigadores, participó en el tribunal de tesis del investigador principal de este proyecto de investigación.

*Grupo:* Grup de processament d'imatges, *Organización:* Universitat Pompeu Fabra, *País:* España, *Director:* Vicent Caselles

*Temas de investigación:* Segmentación, análisis multiescala de formas 3D e imágenes, contornos activos, filtrado y restauración de imágenes, interpolación de imágenes, inpainting o desoclusión, comparación de imágenes y estructuras de datos para la compresión de imágenes

*Descripción:* Es uno de los grupos españoles que trabajan sobre métodos variacionales aplicados a la visión por ordenador. Han realizado trabajos especialmente importantes en el tema de los contornos activos. Miembros de nuestro grupo han colaborado con Vicent Caselles. Actualmente estamos solicitando un proyecto CENIT conjuntamente.

### 3. OBJETIVOS DEL PROYECTO

(máximo dos páginas)

---

#### υ 3.1 Hipótesis de partida

Las técnicas variacionales, que se han desarrollado en los últimos años para el cálculo del flujo óptico, se encuentran entre las técnicas más precisas que se conocen hasta la fecha. La mayoría de estos trabajos se centran en métodos para el cálculo del desplazamiento entre dos imágenes consecutivas. Estos métodos parecen haber llegado a un nivel de precisión en el que ya no es posible avanzar sustancialmente. Recientemente, se han introducido nuevos términos de regularización espacio-temporales que aprovechan la información temporal de la secuencia para mejorar los resultados. Motivado por los resultados obtenidos en algunos trabajos recientes, tenemos la evidencia de que la introducción de una regularización temporal permite mejorar la precisión de los resultados. Cuando los desplazamientos de los objetos son cortos, estos métodos se comportan muy bien llegando a mejorar los resultados sobre los métodos espaciales.

Nosotros queremos extender la hipótesis de los desplazamientos cortos a desplazamientos largos y encontrar métodos más genéricos que cubran un mayor ámbito de posibilidades. La hipótesis de partida, en el que se sustentan los objetivos del proyecto, reside en que la información temporal puede contribuir a mejorar la precisión de los métodos también para el caso de flujos grandes y proveer resultados más coherentes. Esto ya lo hemos demostrado en varios trabajos con algunas restricciones importantes. En general, si el desplazamiento de los objetos en una secuencia de imágenes sigue un movimiento inercial, entonces se debería poder proponer modelos que mejoren el cálculo del flujo óptico de forma similar a como se ha conseguido en el caso continuo. Hasta el momento, los trabajos que han aparecido relacionados con la temática de este proyecto establecían restricciones simples que limitaban la mejora a flujos suaves y continuos.

#### υ 3.2. Antecedentes y resultados previos

Los trabajos de la bibliografía que avalan la hipótesis de partida son [5], [6], [12], [13], [14] y [15]. Todos estos trabajos incluyen términos de regularización espacio-temporales. En varios de estos trabajos se han realizado comparaciones numéricas y se ha llegado a la conclusión de que incorporar información temporal en los términos de regularización, mejora sustancialmente la solución suministrada por los métodos espaciales.

A nivel continuo, aquellos basados en la derivada temporal del flujo óptico, ya existen métodos formales que han dado unos buenos resultados y que son, básicamente, extensiones temporales de los métodos espaciales tradicionales. Estos métodos son los que se detallan en los artículos [6] y [15].

Cuando nos encontramos con largos desplazamientos, estos métodos no superan a los métodos espaciales. En este caso no es muy útil utilizar la información de la derivada temporal del flujo óptico, sino minimizar la diferencia del flujo en distintos instantes de la secuencia. En los trabajos [13], [14], hemos desarrollado varios trabajos en los que suponemos que los desplazamientos son grandes. En éstos hemos propuesto varias aproximaciones a la regularización temporal, sin utilizar la derivada en el tiempo del flujo, que han dado unos resultados bastante alentadores, similares a los de los métodos continuos para secuencias con desplazamientos cortos.

Con estos dos trabajos abordamos de forma sencilla el problema. En particular, estos permiten mejorar los resultados cuando los objetos se desplazan en una misma dirección y con velocidad constante. Tendremos que extender los modelos propuestos para conseguir detectar movimientos más complejos como rotaciones, aceleraciones y otro tipo de transformaciones más complejas.



### 3.3. Objetivos concretos

El proyecto actual se enmarca dentro del "Programa Nacional de Tecnologías Informáticas", en el punto "5 Interfaces avanzadas" y, en concreto, en el subapartado "5.2 Visión artificial y tratamiento avanzado de imagen". El flujo óptico es uno de los temas básicos de la visión artificial. Debido al carácter matemático de los métodos que se han propuesto en esta línea, también se podría incluir este proyecto en el "Programa Nacional de Matemáticas", en el punto "9 Matemática Aplicada y Computacional", en los subapartados "9.2 Ecuaciones en derivadas parciales", "9.3 Cálculo de variaciones, optimización y control" y "9.4 Análisis numérico y simulación". Los objetivos que planteamos en este proyecto son los siguientes:

#### **Objetivo 1: Comprensión y modelado del flujo óptico en una secuencia de imágenes.**

Este objetivo consiste en adquirir una visión detallada de la complejidad del problema. Comprender cuál es la naturaleza del desplazamiento de los objetos en una secuencia de imágenes. Establecer ciertas restricciones en los posibles desplazamientos de los objetos contenidos en una escena. Proponer modelos que representen, de forma fidedigna, el desplazamiento de los objetos en una secuencia de imágenes. Hasta ahora, los modelos temporales que hemos utilizado para el cálculo del flujo óptico son sencillos. Con este proyecto queremos extender los modelos para que comprendan una mayor diversidad de desplazamientos con las restricciones más realistas posibles.

#### **Objetivo 2: Desarrollo de métodos para el cálculo preciso del flujo óptico.**

Con este objetivo nos planteamos desarrollar métodos científicos que permitan detectar el flujo óptico, en una secuencia de imágenes, con bastante precisión. Tal y como hemos mencionado en apartados anteriores, el objetivo es desarrollar métodos que incluyan términos de regularización espacio-temporales preparados para soportar desplazamientos largos de los objetos y, por lo tanto, no basados en la derivada temporal del flujo. Los métodos que queremos desarrollar se pueden dividir en dos tipos:

- a) Métodos causales: Son aquellos en los que el flujo óptico se va calculando a medida que se van obteniendo imágenes de la fuente de adquisición (video-cámara). Este tipo de métodos es adecuado para el cálculo del desplazamiento en tiempo real, útil en algunos problemas como, por ejemplo, en el guiado de robots, monitorización de objetos en tiempo real, vigilancia y seguridad, detección de colisiones, etc.
- b) Métodos no-causales: Son aquellos problemas en los que el flujo óptico se puede calcular utilizando toda la secuencia de imágenes completa al mismo tiempo. No es importante el orden de la secuencia sino el adquirir un resultado global coherente. Debido a su naturaleza, estos métodos permiten obtener precisiones superiores, pero están limitados a problemas que no requieren una ejecución en tiempo real. Ejemplos en los que se podrían aplicar estos métodos pueden ser la reconstrucción 3D de objetos, estudio del desplazamiento en imágenes meteorológicas, compresión de vídeo, registrado de imágenes médicas, etc.

Las características de estos dos tipos de métodos son distintas, por lo que la forma de abordarlos requerirá diferentes necesidades para cada uno. Este es el objetivo principal del proyecto y el que más esfuerzo va a requerir.

#### **Objetivo 3: Aplicación para secuencias de imágenes.**

Una vez que desarrollemos los métodos, necesitaremos una aplicación que permita ejecutar los métodos desarrollados en el objetivo 2 sobre una serie de secuencias de imágenes. Tendremos que recopilar un conjunto de secuencias de imágenes tanto sintéticas como reales. Las secuencias sintéticas nos van a permitir comparar numéricamente los resultados obtenidos con los de otros métodos y estudiar la capacidad de los nuevos métodos. En Internet se encuentran disponibles muchas secuencias de imágenes sintéticas y reales que se suelen utilizar frecuentemente en los trabajos relacionados con el flujo óptico. Asimismo, también disponemos de varias secuencias que hemos conseguido a través del proyecto FLUID, sobre imágenes meteorológicas y de fluidos.

#### 4. METODOLOGÍA Y PLAN DE TRABAJO (en el caso de proyectos coordinados deberá abarcar a todos los subproyectos)

A continuación detallamos, para cada uno de los objetivos de la sección anterior, las tareas que debemos que realizar para conseguirlos. Al final de este apartado detallamos otro conjunto de tareas complementarias que no están directamente relacionadas con los objetivos, pero que son necesarias para llevar a cabo el proyecto.

##### Objetivo 1: Comprensión y modelado del flujo óptico en una secuencia de imágenes.

Este objetivo consiste en comprender mejor el problema y proponer un conjunto de modelos temporales con ciertas restricciones. Las tareas que estimamos necesarias para llevar a cabo este objetivo son las siguientes: Recopilación de documentación, Caracterización del flujo óptico temporal y Definición de modelos temporales para el flujo óptico. A continuación detallamos cada una de estas tareas.

Tarea	<b>1.1 Recopilación de documentación</b>
Personas	Luis Álvarez, Luis Mazorra, Javier Sánchez, Agustín Trujillo
Responsable	Javier Sánchez
Hitos	Lista de artículos y documentos
Duración	12 semanas
Descripción	<p>La primera tarea a realizar es la de recopilación de información. Antes de comenzar a desarrollar los métodos tenemos que tener una idea bastante precisa de cuál es el alcance del problema y sobre qué aspectos nos tenemos que basar.</p> <p>Esta tarea consiste en localizar la bibliografía que se detalla en la introducción, así como otro conjunto de artículos que son necesarios para abordar el problema. Nuestra búsqueda se centrará, sobre todo, sobre otros métodos variacionales que tengan relación con la temática del proyecto. También buscaremos otro tipo de bibliografía que no esté directamente relacionada con las técnicas variacionales y que traten con el tema del cálculo del flujo óptico bajo las mismas condiciones.</p> <p>Se buscará información adicional que nos ayude a poder modelar el flujo óptico en el tiempo, como por ejemplo, libros de física sobre dinámica que nos permita tener otra visión del problema, artículos sobre geometría proyectiva para conocer cómo afecta la proyección de al movimiento de los objetos, etc.</p> <p>Desde el principio tendremos en cuenta que queremos abordar el problema atendiendo a los dos tipos de métodos propuestos en el objetivo 2: métodos causales y no-causales. Aunque están relacionados, la naturaleza de los métodos es bastante distinta y sus formulaciones diferirán considerablemente. Necesitaremos documentación para ambos tipos de métodos.</p> <p>Toda esta información se utilizará posteriormente para la formación de los becarios de investigación.</p> <p>Crearemos un directorio común con el contenido de todos los artículos, de forma que los miembros del grupo de investigación puedan acceder a la misma información.</p> <p>Esta tarea la realizarán los componentes del grupo que tengan más experiencia sobre el tema. Todos tendrán acceso al directorio, e iremos guardando los documentos y creando un índice a los mismos con pequeñas descripciones de su contenido.</p>

Tarea	<b>1.2 Caracterización del flujo óptico temporal</b>
Personas	Luis Álvarez, Luis Mazorra, Javier Sánchez, Agustín Trujillo

Responsable	Luis Álvarez
Hitos	Lista de restricciones, Conjunto de características
Duración	20 semanas
Descripción	<p>Una vez que dispongamos de suficiente documentación, tendremos que estudiarla, comprenderla y seleccionar la que consideremos más apropiada para nuestros objetivos.</p> <p>Realizaremos un estudio de las características de los métodos de flujo óptico que se conocen hasta el momento, tanto de las técnicas que sólo incluyen información espacial como de las que incluyen información temporal. Determinaremos cuáles son los puntos fuertes y débiles de cada uno de ellos y abstraeremos las características comunes.</p> <p>A partir de esta documentación estudiaremos las características que debería tener un modelo para el cálculo del flujo óptico y sus implicaciones físicas. Debemos comprender suficientemente el problema como para ser capaces de imponer una serie de restricciones realistas de forma que el problema sea abordable.</p> <p>Al final de esta tarea seremos capaces de establecer cada una de las características que deberían contener nuestros modelos y de las restricciones que deberían tener.</p>

Tarea	<b>1.3 Definición de modelos temporales para el flujo óptico</b>
Personas	Luis Álvarez, Javier Sánchez
Responsable	Javier Sánchez
Hitos	Modelos temporales para el flujo óptico
Duración	12 semanas
Descripción	<p>Con las características y restricciones del flujo óptico, que hayamos establecido en la tarea anterior, deberemos ser capaces de motivar distintos modelos.</p> <p>Propondremos modelos temporales para los dos tipos de métodos que queremos abordar (métodos causales y no-causales). Estableceremos una jerarquía entre los modelos de forma que podamos abordar el problema desde los modelos más sencillos hasta los más complejos, en sucesivos trabajos.</p> <p>Los modelos que propongamos se tendrán que poder implementar a través de técnicas variacionales.</p> <p>Al final de esta tarea habremos establecido un conjunto de posibles modelos temporales que podrán ser útiles, posteriormente, para crear nuevos métodos para el cálculo del flujo óptico.</p>

## Objetivo 2: Desarrollo de métodos para el cálculo preciso del flujo óptico.

Este es el objetivo principal del proyecto y el que tiene una importancia científica mayor. Nos planteamos desarrollar nuevos métodos que produzcan resultados más precisos. Estos métodos los hemos clasificado en dos tipos: los causales y los no-causales. Los dos son de naturaleza muy distinta, lo que va a suponer diferentes estrategias de abordar el problema con métodos muy dispares.

El objetivo principal de este proyecto supone un reto científico importante. Los dos tipos de métodos son muy importantes porque abarcan áreas de aplicación totalmente distintas dentro de la visión por ordenador. Creemos que es muy interesante abordar con este proyecto los dos tipos de métodos, puesto que tienen muchas cosas en común y, en el futuro, nos puede abrir un amplio abanico de posibilidades. Por esta razón hemos estimado oportuno incluir, en la planificación de las tareas, a dos becarios de investigación. Uno de los becarios trabajaría en el desarrollo de los métodos causales y el otro becario sobre los no-causales. No tiene sentido que un mismo becario trabaje sobre los dos tipos puesto que son bastante diferentes y representaría demasiado trabajo para un solo investigador. El contenido científico que tiene este proyecto es suficiente para la generación de dos tesis doctorales.

Aunque en las tareas que detallamos a continuación aparecen los dos becarios juntos, esto no quiere decir que vayan a trabajar sobre los mismos métodos (cada uno trabajaría independientemente). Es cierto que en algunas tareas sí pueden trabajar conjuntamente, como puede ser en el desarrollo de la aplicación.

<b>Tarea</b>	<b>2.1 Estudio de los métodos del estado del arte</b>
Personas	Becario FPI 1, Becario FPI 2, Javier Sánchez
Responsable	Javier Sánchez
Hitos	
Duración	24
Descripción	<p>Con esta tarea se pretende que los becarios de investigación conozcan los métodos más importantes de la literatura. Los becarios utilizarán la documentación recopilada en la tarea 1.1.</p> <p>Dentro de esta tarea, los becarios deberán implementar algún método sencillo, como el de Horn y Schunck, y comprender todo el proceso de desarrollo completo. Esto les dará suficiente experiencia para enfrentarse al desarrollo de los nuevos métodos.</p> <p>Luis Álvarez y Javier Sánchez estudiarán los métodos con el fin de seleccionar los aspectos más relevantes que nos puedan servir a la hora de diseñar nuestros propios métodos.</p>

<b>Tarea</b>	<b>2.2 Análisis y diseño de los métodos</b>
Personas	Luis Álvarez, Javier Sánchez
Responsable	Javier Sánchez
Hitos	Conjunto de propuesta de métodos
Duración	30 semanas
Descripción	<p>Con los modelos temporales definidos en la tarea 1.3, propondremos nuevos métodos que se desarrollarán durante todo el transcurso del proyecto.</p> <p>Durante esta tarea se realizarán las etapas de análisis y diseño de los métodos. El objetivo de la etapa de análisis es definir los funcionales de energía que darán lugar a los nuevos métodos y que tienen que contener los modelos ya definidos. También se analizarán otro tipo de aspectos, que no están directamente relacionados con la formulación matemática del problema.</p> <p>El objetivo de la etapa de diseño es la de desarrollar las energías definidas en el análisis hasta que sea posible obtener un conjunto de algoritmos, que luego se implementarán en algún lenguaje de programación. Para obtener el algoritmo primero se minimizarán los funcionales de energía, lo que dará lugar a sistemas de ecuaciones en derivadas parciales. Estos sistemas se linealizarán y discretizarán para producir esquemas numéricos que luego serán resueltos por alguna de las técnicas de resolución de sistemas de ecuaciones de análisis numérico.</p> <p>Al final de esta tarea habremos obtenido un conjunto de propuestas de métodos que se implementarán posteriormente. Este conjunto de métodos incluyen los dos tipos de métodos que mencionamos anteriormente: los causales y los no-causales. Por lo general, los modelos ya definidos se podrán aplicar a estas dos clasificaciones, con lo que aprovecharemos el estudio realizado durante el primer objetivo para desarrollar, de forma paralela, los dos tipos de métodos, que tendrán un planteamiento y un desarrollo totalmente distintos.</p>

<b>Tarea</b>	<b>2.3 Implementación de los métodos</b>
Personas	Becario FPI 1, Becario FPI 2, Javier Sánchez

Responsable	Becario FPI 1, Becario FPI 2
Hitos	Programación de los métodos
Duración	60 semanas
Descripción	<p>Los métodos que hayamos analizado y diseñado en la tarea anterior, los implementaremos en algún lenguaje de programación estándar como el C++ o en algún entorno como el Matlab.</p> <p>Esta tarea, junto con la tarea siguiente, es la que requiere más tiempo.</p> <p>Los becarios de investigación serán los encargados de implementar los métodos. Estos utilizarán algunos procedimientos y funciones que ya hemos desarrollado y que acelerarán esta tarea. También utilizarán algunas librerías de libre distribución que se encuentran disponibles a través de Internet. Esto supone que los becarios deben tener algún tipo de apoyo por parte de miembros más experimentados del grupo.</p> <p>Después de la implementación, se tienen que realizar algunas pruebas para comprobar que la implementación ha sido correcta y está exenta de errores.</p>

<b>Tarea</b>	<b>2.4 Realización de experiencias numéricas</b>
Personas	Becario FPI 1, Becario FPI 2, Javier Sánchez
Responsable	Becario FPI 1, Becario FPI 2
Hitos	Resultados numéricos
Duración	48 semanas
Descripción	<p>Con el conjunto de secuencias de imágenes que hayamos recopilado en la tarea 3.1, los becarios de investigación realizarán un conjunto de experiencias numéricas con el objetivo de evaluar la capacidad de los métodos.</p> <p>Utilizaremos secuencias sintéticas que están disponibles para toda la comunidad científica y que se suelen utilizar de forma regular en los trabajos relacionados con este tema.</p>

<b>Tarea</b>	<b>2.5 Publicación de resultados</b>
Personas	Luis Álvarez, Becario FPI 1, Becario FPI 2, Javier Sánchez
Responsable	Javier Sánchez
Hitos	Artículos de congresos y revistas
Duración	30 semanas
Descripción	<p>Con la documentación y los resultados que hayamos obtenido de las tareas anteriores, obtendremos un conjunto de artículos que se publicarán en diferentes congresos y revistas de investigación internacionales.</p> <p>El esfuerzo principal de esta tarea reside en la redacción de los artículos. Se recabará toda la información de las tareas anteriores y se organizarán atendiendo a las necesidades y reglas establecidas por cada organización. Posteriormente, se realizará un proceso de revisión de la documentación.</p>

### Objetivo 3: Aplicación para secuencias de imágenes.

Con este objetivo se plantea recopilar un conjunto de secuencias de imágenes tanto sintéticas como reales y desarrollar una aplicación que permita realizar pruebas con los métodos sobre éstas y generar un conjunto de resultados.

<b>Tarea</b>	<b>3.1 Creación de un directorio de secuencias de imágenes</b>
Personas	Becario FPI 1, Becario FPI 2, Javier Sánchez
Responsable	Javier Sánchez
Hitos	Directorio de imágenes

Duración	12 semanas
Descripción	<p>Con esta tarea nos proponemos crear un directorio centralizado que contenga todo un conjunto de datos de prueba. Este directorio contendrá un conjunto de secuencias de imágenes sintéticas y reales. Muchas de estas secuencias están disponibles de forma gratuita en Internet y son de libre uso para la comunidad científica. Otras secuencias las hemos generado nosotros durante los últimos años. También disponemos de otro conjunto de secuencias que nos han suministrado otros grupos pertenecientes al proyecto FLUID, que ya hemos mencionado anteriormente.</p> <p>Aparte de crear el directorio, estructuraremos la información de forma homogénea de forma que se facilite su utilización por parte de todos los integrantes del grupo y de cara a su utilización en proyectos futuros. Definiremos algunos formatos de ficheros estándar en el que se guardarán los datos de cada secuencia y utilizaremos una misma notación para los nombres de ficheros y sus extensiones.</p>

<b>Tarea</b>	<b>3.2 Desarrollo de la aplicación</b>
Personas	Becario FPI 1, Becario FPI 2
Responsable	Becario FPI 1, Becario FPI 2
Hitos	Entorno ejecutable
Duración	12 semanas
Descripción	<p>Necesitaremos desarrollar una aplicación que nos permita aplicar los métodos que desarrollemos al conjunto de secuencias de imágenes que hayamos incluido en el directorio de la tarea anterior.</p> <p>Esta aplicación nos facilitará la creación de resultados que se incluirán en los artículos de investigación que se publicarán en los congresos y revistas.</p> <p>Nos facilitará, asimismo, el poder analizar los resultados y comprobar si se cumplen las expectativas que hayamos identificado inicialmente para cada uno de los métodos.</p> <p>Permitirá de forma rápida y sencilla el poder visualizar las secuencias de imágenes y el flujo óptico real y el calculado, de forma que se puedan comparar de forma objetiva.</p>

<b>Tarea</b>	<b>3.3 Generación de resultados</b>
Personas	Becario FPI 1, Becario FPI 2
Responsable	Becario FPI 1, Becario FPI 2
Hitos	Generación de estadísticos y de imágenes de resultados
Duración	12 semanas
Descripción	<p>Con la aplicación desarrollada en el punto anterior, se deberá poder generar un conjunto de resultados comparativos. El objetivo es automatizar en la medida de lo posible, la ejecución de las pruebas.</p> <p>Por un lado, nos interesa generar un conjunto de resultados numéricos, tales como el error angular y el error Euclídeo, que son dos de los estadísticos más utilizados en la bibliografía. También nos interesa la desviación estándar para comprobar la robustez de los resultados.</p> <p>Por otro lado, nos interesa generar algunos resultados visuales como, por ejemplo, imágenes representativas del flujo óptico calculado, imágenes que representen el error producido entre la solución obtenida y la solución correcta, etc.</p> <p>Estos resultados se podrán generar de forma automática para varias secuencias de imágenes y diferentes configuraciones de parámetros, con el fin de facilitar la redacción de los artículos.</p> <p>Estos resultados se podrán reflejar en un conjunto de gráficas y tablas que sirvan para comparar los métodos que desarrollaremos en este proyecto entre sí y con otros métodos existentes.</p>

### Otras tareas

Aparte de las tareas que están directamente relacionadas con la consecución de los objetivos, hemos definido otro conjunto de tareas que son necesarias para que el proyecto progrese de forma conveniente.

<b>Tarea</b>	<b>4.1 Formación de los becarios de investigación</b>
Personas	Becario FPI 1, Becario FPI 2
Responsables	Luis Álvarez, Javier Sánchez, Luis Mazorra
Hitos	
Duración	20 semanas
Descripción	Aparte de estudiar los métodos del estado del arte, los becarios de investigación se tienen que formar en un conjunto de técnicas que serán necesarias para poder desarrollar su trabajo convenientemente. Algunos de los temas sobre los que tendremos que formar a los becarios son: <ul style="list-style-type: none"><li>- Métodos para el cálculo del flujo óptico</li><li>- Teoría de los métodos variacionales y la minimización de energías</li><li>- Resolución del flujo óptico a través de ecuaciones en derivadas parciales</li><li>- Esquemas de difusión isótropa y anisótropa</li><li>- Análisis multiescala</li></ul>

<b>Tarea</b>	<b>4.2 Gestión del proyecto</b>
Personas	Javier Sánchez
Responsable	Javier Sánchez
Hitos	Memorias anuales, asistencia a congresos
Duración	12 semanas
Descripción	Todo proyecto lleva asociado un conjunto de tareas que están asociadas con la gestión del mismo. Algunas de estas tareas son: <ul style="list-style-type: none"><li>- Redacción y presentación de las memorias anuales</li><li>- Altas y bajas de miembros en el grupo</li><li>- Tramitación de los gastos asociados al proyecto</li><li>- Organización de viajes a congresos y reuniones científicas</li><li>- Organización de las reuniones de grupo</li><li>- Control del progreso del proyecto</li></ul>

<b>Tarea</b>	<b>4.3 Crear página web del proyecto</b>
Personas	Becario FPI 1, Becario FPI 2, Agustín Trujillo
Responsable	Agustín Trujillo
Hitos	Páginas HTML
Duración	12 semanas
Descripción	Crearemos una página del proyecto de investigación que se irá actualizando a lo largo de toda la duración del proyecto. En esta página web introduciremos la siguiente información: <ul style="list-style-type: none"><li>- Descripción del proyecto</li><li>- Trabajos que se desarrollen durante la realización del proyecto</li><li>- Software que se genere a partir del proyecto</li><li>- Métodos desarrollados</li></ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Lista del personal que interviene en el proyecto</li> <li>-Progreso de las tareas del proyecto</li> <li>-Bibliografía utilizada en el proyecto</li> </ul> <p>También se podrá incluir otro tipo de información que consideremos pertinente, con el objetivo de darle mayor difusión al proyecto.</p>
--	--

<b>Tarea</b>	<b>4.4 Instalación de un servidor Subversion</b>
Personas	Javier Sánchez, Agustín Trujillo
Responsable	Agustín Trujillo
Hitos	Sistema de trabajo en equipo
Duración	2 semanas
Descripción	<p>Desde el principio del proyecto instalaremos un sistema de trabajo en equipo denominado Subversion. Este sistema permite que los integrantes del proyecto puedan compartir ficheros de forma eficiente y centralizada, al mismo tiempo que lleva un control de versiones.</p> <p>Actualmente, en el marco del proyecto FLUID estamos utilizando este sistema y los resultados son bastante satisfactorios.</p> <p>Definiremos un sistema de directorios donde colocaremos toda la información del proyecto y sobre el que trabajará el Subversion.</p>



#### 4.1 MODELO DE CRONOGRAMA (ORIENTATIVO)

En este cronograma debe figurar la totalidad del personal investigador incluido en el formulario de solicitud y, en su caso, el personal contratado que se solicite con cargo al proyecto.

Debe subrayarse el nombre de la persona responsable, en cada tarea.

Nombre de tarea	Duración	Personas	2007				2008				2009				2010				
			tri 4	tri 1	tri 2	tri 3	tri 4	tri 1	tri 2	tri 3	tri 4	tri 1	tri 2	tri 3	tri 4	tri 1	tri 2	tri 3	
<b>Objetivo 1: Comprensión y modelado del</b>	<b>350 días</b>																		
1.1 Recopilación de documentación	50 días	Luis A.;Luis M.;Javier;Agustín	Luis A.;Luis M.;Javier;Agustín																
1.2 Caracterización del flujo óptico ten	60 días	Luis A.;Luis M.;Javier;Agustín	Luis A.;Luis M.;Javier;Agustín																
1.3 Definición de modelos temporales	240 días	Luis A.;Javier	Luis A.;Javier																
<b>Objetivo 2: Desarrollo de métodos</b>	<b>733 días</b>																		
2.1 Estudio de los métodos	240 días	Javier;Becario1;Becario2	Javier;Becario1;Becario2																
2.2 Análisis y diseño de los métodos	240 días	Luis A.;Javier	Luis A.;Javier																
2.3 Implementación de los métodos	440 días	Becario2;Becario1	Becario2;Becario1																
2.4 Realización de experiencias numé	350 días	Becario1;Becario2	Becario1;Becario2																
2.5 Publicación de resultados	280 días	Javier;Becario1;Becario2;Luis A	Javier;Becario1;Becario2																
<b>Objetivo 3: Aplicación para secuencias d</b>	<b>647 días</b>																		
3.1 Creación de un directorio de secu	90 días	Javier;Becario1;Becario2	Javier;Becario1;Becario2																
3.2 Desarrollo de la aplicación	300 días	Becario1;Becario2	Becario1;Becario2																
3.3 Generación de resultados	300 días	Becario1;Becario2	Becario1;Becario2																
<b>Otras tareas</b>	<b>780 días</b>																		
4.1 Formación de los becarios	250 días	Luis A.;Javier;Luis M.	Luis A.;Javier;Luis M.																
4.2 Gestión del proyecto	150 días	Javier	Javier																
4.3 Crear página web del proyecto	135 días	Agustín;Becario1;Becario2	Agustín;Becario1;Becario2																
4.4 Instalación de un servidor Subvers	60 días	Javier;Agustín	Javier;Agustín																

## 5. BENEFICIOS DEL PROYECTO, DIFUSIÓN Y EXPLOTACIÓN EN SU CASO DE LOS RESULTADOS (máximo una página)

---

### **Contribuciones científico-técnicas esperables**

El objetivo principal del proyecto es el de investigar en nuevos métodos científicos que contribuyan a avanzar el conocimiento en el campo de la visión por ordenador. Nos encontramos en disposición de mejorar los métodos que existen actualmente y que están en la frontera del conocimiento.

Las principales contribuciones científicas que se esperan obtener, están relacionadas con la propuesta de nuevos métodos para el cálculo del flujo óptico temporal que sean más generales, precisos y robustos. Sabemos que el flujo óptico es la base para un amplio conjunto de aplicaciones dentro de la visión por ordenador. La mejora de éste va a suponer el poder obtener mejores resultados en otros temas de la visión artificial. A nivel técnico, se desarrollará una aplicación que permitirá aplicar los métodos que se desarrollen durante el transcurso del proyecto. Esta aplicación se publicará en la web.

Los resultados que se esperan obtener de este proyecto, no son directamente transferibles a corto plazo. Sin embargo, la técnica del flujo óptico es una base fundamental para el desarrollo de aplicaciones más complejas en el campo de la visión por ordenador. En proyectos anteriores hemos utilizado técnicas similares aplicadas a la visión estereoscópica. Otra aplicación directa del flujo óptico es el de la vigilancia y seguridad.

### **Adecuación a las prioridades de la convocatoria**

Este proyecto se enmarca en la línea temática prioritaria de "5 Interfaces avanzadas", "5.2 Visión artificial y tratamiento avanzado de imagen" del "Programa Nacional de Tecnologías Informáticas". El problema del cálculo del flujo óptico es un tema fundamental y básico en el campo de la visión artificial.

Asimismo, este proyecto tiene un alto contenido de análisis matemático y de ecuaciones en derivadas parciales. Es por esto que también podría enmarcarse en el "Programa Nacional de Matemáticas", en el punto "9 Matemática Aplicada y Computacional", en los subapartados "9.2 Ecuaciones en derivadas parciales", "9.3 Cálculo de variaciones, optimización y control" y "9.4 Análisis numérico y simulación".

### **Plan de difusión**

Durante el desarrollo de este proyecto se espera generar un conjunto de trabajos de investigación. Los resultados de estos trabajos se publicarán en distintos congresos y revistas de carácter científico.

En el campo de la visión por ordenador se han ido consolidando, durante los últimos años, un conjunto de congresos y de revistas científicas importantes. Entre estas cabe destacar:

- Congresos de prestigio: ECCV: European Conference on Computer Vision, ICCV: International Conference on Computer Vision, CVPR: Computer Vision and Pattern Recognition, ICIP: International Conference on Image Processing, ACCV: Asian Conference on Computer Vision, ICVS: International Conference on Visual Systems, ICPR: International Conference on Pattern Recognition
- Revistas científicas internacionales con mayor índice de impacto: IEEE PAMI: Pattern Analysis and Machine Intelligence, IJCV: International Journal of Computer Vision, IEEE Transactions on Image Processing, JMIV: Journal of Mathematical Imaging and Vision, Pattern Recognition, CVIU: Computer Vision And Image Understanding.

Nuestra intención es enviar varios trabajos de investigación a un congreso de los más relevantes al año. En promedio solemos enviar varios artículos a congresos. Dependiendo del número de becarios de los que dispongamos, este número puede estar entre 2 y 5.

Asimismo, hemos planificado la creación de una página web donde se publicarán todos los resultados y toda la información que se genere durante la ejecución del proyecto. Esto permitirá dar una mayor difusión a nuestro proyecto.

**6. HISTORIAL DEL EQUIPO SOLICITANTE EN EL TEMA PROPUESTO (En caso de Proyecto Coordinado, los apartados 6. y 6.1. deberán rellenarse para cada uno de los equipos participantes) (máximo dos páginas)**

---

En este proyecto se intenta abordar una nueva temática que está muy relacionada con los trabajos que hemos realizado hasta el momento. Nuestro grupo ha adquirido una buena experiencia en temas tan diversos como la aplicación de las ecuaciones en derivadas parciales aplicadas a la visión por ordenador, el análisis numérico, técnicas de minimización de energía, todas ellas relacionadas con el cálculo del flujo óptico y la visión estereoscópica. La visión estereoscópica se basa en la estimación del flujo óptico pero con algunas restricciones geométricas. Es por esto, que durante estos años nos hemos centrado, especialmente, en estos dos problemas. Nuestro grupo de investigación ha realizado muchos trabajos relacionados con estos dos temas. A continuación enumeramos algunos de los artículos de investigación más importantes que hemos publicado en revistas y congresos científicos.

**Artículos de investigación relacionados**

*Artículos sobre flujo óptico*

1. A. Salgado and J. Sánchez, "A Temporal Regularizer for Large Optical Flow Estimation", International Conference on Image Processing 2006, October 2006
2. A. Salgado and J. Sánchez, "Optical Flow Estimation with Large Displacements: A Temporal Regularizer", Cuadernos del Instituto Universitario de Ciencias y Tecnologías Cibernéticas, Nº 33, pp.1-22, 2006
3. L. Alvarez, R. Deriche, T. Papadopoulos and J. Sánchez, "Symmetrical Dense Optical Flow Estimation with Occlusions Detection", International Journal of Computer Vision. Pendiente de publicación, 2006. Una versión simplificada del mismo ha sido publicado en ECCV 2002, LNCS, 2350, pp 721-736, Springer, 2002.
4. J. Sánchez. Estimación del flujo óptico en secuencias de imágenes y de la carta de disparidad en pares estéreo: Aplicación a la reconstrucción tridimensional. Tesis doctoral. Diciembre 2001.
5. L. Alvarez, J. Weickert, and J. Sánchez, "Reliable Estimation of Dense Optical Flow Fields with Large Displacements", International Journal of Computer Vision, Vol. 39, 1 (2000) 41–56.
6. L. Alvarez J. Weickert and J. Sánchez. A Scale-Space Approach to Nonlocal Optical Flow Calculations. ScaleSpace'99, LNCS, 1682, pp.235-246, Springer, 1999.
7. L. Alvarez, J. Esclarín, M. Lefebure and J. Sánchez. A PDE model for computing the Optical Flow. CEDYA XVI, pp. 1349-1356, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, September 1.999.

Los dos primeros artículos tienen bastante relación con la temática de este proyecto y son los que nos han motivado a plantear esta nueva línea de investigación. En la tesis de D. Javier Sánchez se propusieron varios métodos tanto para el flujo óptico como para la visión estereoscópica, utilizando las mismas técnicas.

*Artículos sobre visión estereoscópica*

8. L. Alvarez, R. Deriche, J. Sánchez and J. Weickert. "Dense Disparity Map Estimation Respecting Image Discontinuities: A PDE and Scale-Space Based Approach", Journal of Visual Communication and Image Representation, 13, pp. 3-21. 2002.
9. L. Alvarez, C. Cuenca y J. Sánchez Regularizing a Set of Unstructured 3D Points from a Sequence of Stereo Images. Scale-Space 2003, LNCS, 2695, pp. 449-463, Isle of Skye, Scotland, 2003.
10. L. Alvarez, C. Cuenca y J. Sánchez Regularization of 3D Cylindrical Surfaces. IbPRIA 2003, LNCS, 2652, pp. 37-44, Springer, Palma de Mallorca, Spain, 2003

11. L. Alvarez, C. Cuenca, A. Salgado and J. Sánchez. A variational approach to 3D geometry reconstruction from two or multiple views. Cuadernos del Instituto Universitario de Ciencias y Tecnologías Cibernéticas
12. L. Alvarez, and J. Sánchez. 3-D Geometry reconstruction using a color image stereo pair and partial differential equations. Cuadernos del Instituto Universitario de Ciencias y Tecnologías Cibernéticas, 6, pp. 1-26, 2000. (demo)
13. J. Sánchez. Variational Multi-Scale-Space Approach to Dense Disparity Map Estimation. RecPad 2000, Porto, Portugal, May 2000.
14. L. Alvarez, and J. Sánchez. Reconstrucción 3-D a partir de un par estéreo de imágenes en color utilizando ecuaciones en derivadas parciales. X Congreso Español de Informática Gráfica, Castelló, Junio 2000.
15. L. Alvarez and J. Sánchez. Sobre un problema de optimización no-lineal en visión estereoscópica. Aspectos computacionales. CEDYA XVI, pp. 1357-1364, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, September 1.999.

Aparte de las contribuciones a congresos y revistas, nuestro grupo también ha liderado y participado en un buen número de proyectos de investigación de carácter regional, nacional y europeo. Los proyectos que mencionamos aquí son los que tienen una relación más directa con el proyecto que estamos solicitando.

#### **Proyectos de investigación relacionados**

1. "Ecuaciones en derivadas parciales y tratamiento de imágenes", Entidad financiadora: Programa de Acciones Integradas Hispano-Francesas (Ref. HF94-101 y HF95-302)
2. "Análisis y tratamiento de imágenes angiográficas y reconstrucción tridimensional", Entidad financiadora: Programa Sectorial de Promoción General del Conocimiento M.E.C (Ref: PB95-1225)
3. "Métodos matemáticos basados en EDP's y visión por ordenador", Entidad financiadora: Programa de Acciones Integradas HISPANO-FRANCESAS
4. "Soluciones de Viscosidad y Aplicaciones", Entidad financiadora: CEE HCM Program (Ref: ERB-4061-PL-97-0777)
5. "Aplicaciones de las ecuaciones en derivadas parciales a la visión por ordenador", Entidad financiadora: Programa de acciones integradas HISPANO-FRANCESAS (ref. HF1998-0098)
6. "Representación de escenas 3D a partir de múltiples vistas", Entidad financiadora: Ministerio de Ciencia y Tecnología (Ref: TIC 2000-0585)
7. "Reconstrucción de la Geometría 3D a partir de una secuencia video de pares estéreo", Entidad financiadora: Gobierno de Canarias (Ref. 2002/193)
8. "Reconstrucción de la geometría 3D de una cara humana a partir de un sistema de cámaras y aplicaciones", Entidad financiadora: Ministerio de Ciencia y Tecnología (Ref. TIC2003-08957)
9. "FLUID: Fluid Image Analysis and Description", Entidad financiadora: CEE 6th FrameWork Programme (Ref: 513663)

Todos estos proyectos de investigación tienen que ver con el cálculo del flujo óptico o con la visión estereoscópica, y en la mayoría de ellos se tratan con técnicas variacionales y ecuaciones en derivadas parciales. Nuestro grupo también mantiene importantes colaboraciones con otros grupos de investigación (ver introducción).

## 6.1 FINANCIACIÓN PÚBLICA Y PRIVADA (PROYECTOS Y CONTRATOS DE I+D) DE LOS MIEMBROS DEL EQUIPO INVESTIGADOR

Debe indicarse únicamente lo financiado en los últimos cinco años (2000-2004), ya sea de ámbito autonómico, nacional o internacional.

Deben incluirse las solicitudes pendientes de resolución.

Título del proyecto o contrato	Relación con la solicitud que ahora se presenta (1)	Investigador Principal	Subvención concedida o solicitada	Entidad financiadora y referencia del proyecto	Periodo de vigencia o fecha de la solicitud (2)
			EURO		
Viscosity Solutions and their Applications	2	Luis Álvarez	120.000	Commision of the European Communities. Human Capital and Mobility. Scientific and Technical Cooperation Networks. Referencia : ERB-4061-PL-97-0777	1997-2001 C
Representación de escenas 3D a partir de múltiples vistas	2	Luis Mazorra	48.800	Ministerio de Ciencia y Tecnología. Ref: TIC2000-0585	2000-2003 C
Reconstrucción de la geometría 3D a partir de una secuencia vídeo de pares estéreo	1	Javier Sánchez	18.144	Gobierno de Canarias. Ref: PI2002/193	2002-2005 C
Reconstrucción de la geometría 3D de una cara humana a partir de un sistema de cámaras y aplicaciones	1	Javier Sánchez	24.840	Ministerio de Ciencia y Tecnología. Ref: TIC2003-08957	2003-2006 C
FLUID: Fluid Image Analysis and Description	1	Luis Álvarez	223.375	Commision of the European Communities. 6th Framework Programme. Referencia : 513663	2004-2007 C
CAVACAN: Sistema Gráfico de Visualización del Archipiélago Canario	3	Agustín Trujillo	46.500	Instituto Tecnológico de Canarias	2005-2006 C

(1) Escribase 0, 1, 2 o 3 según la siguiente clave:

0 = Es el mismo proyecto

1 = está muy relacionado

2 = está algo relacionado

3 = sin relación

(2) Escribese una C o una S según se trate de una concesión o de una solicitud.

## 7. CAPACIDAD FORMATIVA DEL PROYECTO Y DEL EQUIPO SOLICITANTE (En caso de Proyecto Coordinado deberá rellenarse para cada uno de los equipos participantes)

---

Nuestro grupo de investigación se ha dedicado al tema del flujo óptico durante muchos años, y hemos acumulado una experiencia muy importante. Los trabajos que estamos desarrollando, se sitúan en la frontera del conocimiento.

En el seno de nuestro grupo de investigación se han realizado 8 tesis doctorales. Estas tesis doctorales son:

Título: Filtrado y restauración de imágenes y señales unidimensionales a través de ecuaciones diferenciales

Doctorando: Luis Mazorra Manrique de Lara

Universidad: Universidad de Las Palmas de Gran Canaria

Facultad/Escuela: Facultad de Informática

Fecha: 1994-03-22

Título: Cuantificación de Imágenes

Doctorando: Julio Esclarín Monreal

Universidad: Universidad de Las Palmas de Gran Canaria

Facultad/Escuela: Facultad de Informática

Fecha: 1996-04-23

Título: Distribución de formas en Imágenes Naturales

Doctorando: Yann Gousseau

Universidad: Université Paris IX DAUPHINE

Facultad/Escuela: CEREMADE

Fecha: 2000-01-28

Título: Estimación del flujo óptico en secuencias de imágenes y de la carta de disparidad en pares estéreo.

Aplicación

a la reconstrucción 3-D.

Doctorando: Javier Sánchez

Universidad: Universidad de Las Palmas de Gran Canaria

Facultad/Escuela: Facultad de Informática

Fecha: 2001-12-14

Título: Modelos de percepción visual basados en la orientación de contornos

Doctorando: Miguel Alemán Flores

Universidad: Universidad de Las Palmas de Gran Canaria

Facultad/Escuela: Facultad de Informática

Fecha: 2002-01-15

Título: Localización de contornos con precisión sub-píxel en imágenes bidimensionales y tridimensionales

Doctorando: Agustín Trujillo Pino

Universidad: Universidad de Las Palmas de Gran Canaria

Facultad/Escuela: Facultad de Informática

Fecha: 2004-12-17

Título: Ecuaciones diferenciales geométricas en visión por ordenador y aplicaciones

Doctorando: Francisco Santana Pérez

Universidad: Universidad de Las Palmas de Gran Canaria  
Facultad/Escuela: Facultad de Informática  
Fecha: 2004-12-17

Título: Reconstrucción de la geometría tridimensional de una escena a partir de múltiples vistas  
Doctorando: Carmelo Cuenca Hernández  
Universidad: Las Palmas de Gran Canaria  
Facultad/Escuela: Informática  
Fecha: 2004-03-11

Actualmente, nuestro grupo de investigación está dirigiendo las tesis doctorales de dos becarios de investigación. Uno de estos becarios está financiado por el proyecto europeo FLUID y el otro tiene un beca de investigación de nuestra universidad. Este último está finalizando su tesis y, muy probablemente, la presentará durante el año 2007.

El becario de investigación asociado a FLUID ha realizado una estancia de investigación corta en el grupo de investigación CVPGR (mencionado en la introducción) con el objetivo de colaborar dentro del proyecto de investigación FLUID, cuya temática está bastante relacionada con el objetivo de este proyecto.

El otro becario se encuentra realizando una estancia larga (más de 7 meses) en el grupo de investigación MIA (también mencionado en la introducción) trabajando sobre el tema del flujo óptico. Con este becario hemos realizado los dos trabajos sobre flujo óptico temporal que se detallan en la introducción, aparte de otros trabajos relacionados con la visión estereoscópica. El objetivo de esta estancia es completar su formación, seguir colaborando con este grupo y poder solicitar el doctorado europeo.

Tres de los miembros que componen el equipo de investigación, imparten docencia en los cursos de doctorado del programa "Ciberenética y Telecomunicación" de la Facultad de Informática de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Estos cursos son:

Título: Técnicas Avanzadas en Restauración de Imágenes Digitales  
Profesores: Luis Mazorra , Julio Esclarín

Título: Cálculo del Flujo Óptico utilizando Ecuaciones en Derivadas Parciales  
Profesores: Luis Álvarez, Javier Sánchez

Título: Visión Tridimensional y Aplicaciones  
Profesores: Luis Álvarez, Javier Sánchez