

Convocatorias 2014
Proyectos de I+D “EXCELENCIA” y Proyectos de I+D+I “RETOS INVESTIGACIÓN”
Dirección General de Investigación Científica y Técnica
Subdirección General de Proyectos de Investigación

AVISO IMPORTANTE

En virtud del artículo 11 de la convocatoria **NO SE ACEPTARÁN NI SERÁN SUBSANABLES MEMORIAS CIENTÍFICO-TÉCNICAS** que no se presenten en este formato.

Lea detenidamente las instrucciones que figuran al final de este documento para rellenar correctamente la memoria científico-técnica.

Parte A: RESUMEN DE LA PROPUESTA/SUMMARY OF THE PROPOSAL

INVESTIGADOR PRINCIPAL 1 (Nombre y apellidos):

ALFONSO JOSE CALERA BELMONTE

INVESTIGADOR PRINCIPAL 2 (Nombre y apellidos):

JOSE GONZÁLEZ PIQUERAS

TÍTULO DEL PROYECTO: HERramientas para el Manejo sostenible de fertilización Nitrogenada y Agua

ACRÓNIMO: HERMANA

RESUMEN Máximo 3500 caracteres (incluyendo espacios en blanco):

HERMANA pretende implementar una herramienta de diagnóstico que permita conocer las demandas de agua y fertilización nitrogenada de los cultivos y su variabilidad en el espacio y en el tiempo, y así poder ajustar mejor el suministro de estos insumos a dichas demandas para conseguir una optimización del rendimiento y una mejora en la sostenibilidad de los ecosistemas agrarios, al incrementar la eficiencia en el uso de fertilizantes y agua.

La metodología que se propone investigar utiliza tecnologías de Observación de la Tierra como input básico para describir la variabilidad espacial de la cubierta vegetal. Integra la información derivada de las imágenes multiespectrales en modelos de balance de agua y de nitrógeno, lo que va a permitir producir los mapas de necesidades de agua, de N y biomasa en tiempo real. Para esta propuesta se acota el ámbito de validación al caso de cultivos principales como son los cereales grano, casos del trigo, tanto de secano como regadío, y maíz.

Las series temporales densas de imágenes multiespectrales describen de forma precisa el ciclo de crecimiento del cultivo a lo largo de su ciclo de crecimiento. La hipótesis bajo estudio es que la mejor estimación espacio temporal de acumulación de biomasa, y por tanto del rendimiento, puede ser aquella que se obtiene desde la respuesta espectral de la cubierta, integrada en los modelos de crecimiento de la vegetación, que relacionan el ritmo de acumulación de biomasa con el ritmo de transpiración y con el de absorción de la radiación solar. La evolución de la biomasa determina las demandas de agua y N, pues el ritmo de acumulación y las demandas están intrínsecamente relacionadas.

PALABRAS CLAVE: Biomasa, Rendimiento, Agua, Fertilización Nitrogenada, Teledetección

TITLE OF THE PROJECT: Tools for Sustainable Supply management of nitrogen and waTER

ACRONYM: SISTER

SUMMARY Maximum 3500 characters (including spaces):

The outcome of HERMANA proposal will be a diagnostic toolset that will allow to know in space and time demands for water and nitrogen fertilization of the crop, so you can better adjust water and nutrient input to the crop's spatially and temporally varying requirements. This is expected to help optimize yield through increased water and nutrient use efficiencies.

We are proposing a combined methodology, using Earth Observation (EO) in order to generate in real time maps of crop water and nitrogen requirements and of biomass at the space-time resolution required for precision farming and to transmit these to the users for operational use. For the scope of this proposal, the validation will focus on the major crops, i.e., grain cereals such as wheat, rainfed and irrigated, and corn.

This proposal aims at estimating crop water and nitrogen fertilization requirements from multispectral imagery that describes the growing cycle, jointly with meteorological data. Basis of crop growth models (CGM) relate the accumulation of biomass with the process of transpiration and absorption of solar radiation. The basic hypothesis under study is that the integration of spectral response data from Earth Observation into CGM provides the best estimate of the time and space evolution of biomass accumulation, as well as, in a subsequent step, of yield and production. The evolution of biomass in turn determines the crop water and nitrogen requirements, since the rate of accumulation of biomass and demands are intrinsically related.

KEY WORDS: Biomass, Yield, Nitrogen Fertilization, Water, Remote Sensing

Parte B: INFORMACIÓN ESPECÍFICA DEL EQUIPO

B.1. RELACIÓN DE LAS PERSONAS NO DOCTORES QUE COMPONEN EL EQUIPO DE TRABAJO (se recuerda que los doctores del equipo de trabajo y los componentes del equipo de investigación no se solicitan aquí porque deberán incluirse en la aplicación informática de solicitud). Repita la siguiente secuencia tantas veces como precise.

1. Nombre y apellidos: LAURA GONZÁLEZ GÓMEZ
Titulación: Ingeniero Agrónomo
Tipo de contrato: Contratada
Duración del contrato: Temporal
2. Nombre y apellidos: VICENTE BODAS GONZÁLEZ
Titulación: Ingeniero Agrónomo
Tipo de contrato: Consultor
Duración del contrato:
3. Nombre y apellidos: JESÚS GARRIDO RUBIO
Titulación: Ingeniero Agrónomo
Tipo de contrato: Contratado
Duración del contrato: Temporal
4. Nombre y apellidos: JULIO VILLODRE CARRILERO
Titulación: Licenciado en Biología y licenciado en Ciencias Ambientales.
Tipo de contrato: Contratado
Duración del contrato: Temporal
5. Nombre y apellidos: MARIO BELMONTE MANCEBO
Titulación: Grado en Ingeniería Agrícola y Medio Rural
Tipo de contrato: Contratado
Duración del contrato: Temporal
6. Nombre y apellidos: IRENE ARELLANO ALCÁZAR
Titulación: Grado en Ingeniería Agrícola y Medio Rural
Tipo de contrato: Contratada
Duración del contrato: Temporal
7. Nombre y apellidos: JUAN JOSÉ PEÓN GARCÍA
Titulación: Ingeniero Técnico en Topografía; Grado en Ingeniería en Geomática y Topografía; Máster en Teledetección y Sistemas de Información Geográfica.
Tipo de contrato: Contrato predoctoral (Personal Investigador en Formación; programa Severo Ochoa)
Duración del contrato: Temporal (1 de enero de 2014 a 31 de diciembre de 2017)

B.2. FINANCIACIÓN PÚBLICA Y PRIVADA (PROYECTOS Y/O CONTRATOS DE I+D+I) DEL EQUIPO DE INVESTIGACIÓN (repita la secuencia tantas veces como se precise hasta un máximo de 10 proyectos y/o contratos).

1. Investigador del equipo de investigación que participa en el proyecto: Alfonso Calera Belmonte, José González Piqueras, Antonio Quintanilla Rodenas, José Reyes Ruíz Gallardo.
Referencia del proyecto: Grant agreement 633945
Título: **FATIMA**, Farming Tools for external nutrient Inputs and water MAnagement.
Investigador principal (nombre y apellidos): Alfonso Calera Belmonte y Anna Osann
Entidad financiadora: Comunidad Europea
Duración: fecha inicio: 01/03/2015- fecha fin: 01/03/ 2018
Financiación recibida (en euros): 7 787 888 €
Relación con el proyecto que se presenta: mismo tema/está muy relacionado/está algo relacionado/sin relación
Estado del proyecto o contrato: en ejecución
2. Investigador del equipo de investigación que participa en el proyecto: Alfonso Calera Belmonte, José González Piqueras, Antonio Quintanilla Rodenas, José Reyes Ruíz Gallardo. www.sirius-gmes.es

Referencia del proyecto: Grant agreement 262902

Título: **SIRIUS**, Sustainable Irrigation water management and River-basin Governance: Understanding User-driven Services.

Investigador principal (nombre y apellidos): Alfonso Calera Belmonte y Anna Osann

Entidad financiadora: Comunidad Europea

Duración: fecha inicio: 01/10/2010- fecha fin: 01/11/ 2013

Financiación recibida (en euros): 2.499.970 €

Relación con el proyecto que se presenta: mismo tema/está muy relacionado/está algo relacionado/sin relación

Estado del proyecto o contrato: terminado

3. Investigador del equipo de investigación que participa en el proyecto: Horacio López Córcoles, Fernando de la Cruz

Referencia del proyecto: **Customised Advanced GIS Advisory Tools for the Sustainable Management of Extensive Crops (LIFE11 ENV/ES/000641)**, www.agroasesor.es

Investigador principal (nombre y apellidos): Horacio López Córcoles

Entidad financiadora: LIFE+ Environment Policy & Governance programme 2011

Duración: fecha inicio: 01/10/2012- fecha fin: 01/11/ 2015

Financiación recibida (en euros):

Relación con el proyecto que se presenta: mismo tema/está muy relacionado/está algo relacionado/sin relación

Estado del proyecto o contrato: concedido

4. Investigador del equipo de investigación que participa en el proyecto: Alfonso Calera Belmonte, José González Piqueras, Antonio Quintanilla Rodenas, José Reyes Ruíz Gallardo, Manuel Valiente Gómez.

Referencia del proyecto: AGL2011-30498-C02-01

Título: Coupling land surface Energy and water balance from Remote sensing for mapping Evapotranspiration, Water Stress and Soil Moisture, **CERESS**, www.hidromore.es

Investigador principal (nombre y apellidos): Alfonso Calera Belmonte

Entidad financiadora: MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN

Duración (fecha inicio: 01/1/2012- fecha fin: 31/12/ 2014

Financiación recibida (en euros): 180.000,00 €

Relación con el proyecto que se presenta: mismo tema/está muy relacionado/está algo relacionado/sin relación

Estado del proyecto o contrato: concedido

5. Investigador del equipo de investigación que participa en el proyecto/contrato (nombre y apellidos): Alfonso Calera Belmonte, José González Piqueras, Antonio Quintanilla Rodenas, José Reyes Ruíz Gallardo.

Referencia del proyecto: PPII10-0121-9175

Título: Cuantificación del estrés hídrico de vid en producción mediante teledetección con técnicas de fluorescencia clorofílica. **FLUORESCENCIA**.

Investigador principal (nombre y apellidos): Alfonso Calera Belmonte

Entidad financiadora: JUNTA DE COMUNIDADES DE CASTILLA-LA MANCHA

Duración: fecha inicio: 01/01/2011 - fecha fin: 31/12/2013

Financiación recibida (en euros): 128.550,00 €

Relación con el proyecto que se presenta: mismo tema/está muy relacionado/está algo relacionado/sin relación

6. Investigador del equipo de investigación que participa en el proyecto/contrato (nombre y apellidos): Manuel Valiente

Referencia del proyecto: AGL2010-21681-C03-02

Título: Riego por aspersión: aplicación del agua, agronomía y flujos de retorno

Investigador principal (nombre y apellidos): J. F. Ortega

Entidad financiadora: MINISTERIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Duración: fecha inicio: 1/1/2011- fecha fin: 1/12/2013

Financiación recibida (en euros): 145.200,00 €

Relación con el proyecto que se presenta: mismo tema/está muy relacionado/está algo relacionado/sin relación

Estado del proyecto o contrato: concedido

7. Investigador del equipo de investigación que participa en el proyecto: Alfonso Calera Belmonte, José González Piqueras, Antonio Quintanilla Rodenas, José Reyes Ruíz Gallardo, Manuel Valiente Gómez.

Referencia del proyecto: CGL2008-04047

Título: Evapotranspiración, Balance Hídrico y Estrés de la cubierta mediante la secuencia multitemporal de imágenes de satélite y su agregación espacial y temporal en grandes áreas heterogéneas. **EBHE**.

Investigador principal (nombre y apellidos): Alfonso Calera Belmonte

Entidad financiadora: MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACION

Duración (fecha inicio: 01/1/2009- fecha fin: 31/12/ 2011

Financiación recibida (en euros): 112.530,00 €

Relación con el proyecto que se presenta: mismo tema/está muy relacionado/está algo relacionado/sin relación

Estado del proyecto o contrato: terminado

8. Investigador del equipo de investigación que participa en el proyecto: Alfonso Calera Belmonte, José González Piqueras, Antonio Quintanilla Rodenas, José Reyes Ruíz Gallardo.

Referencia del proyecto: GOCE Contrato nº 037095

Título: Participatory Multi-Level EO-assisted tools for Irrigation water management and Agricultural Decision-Support, **PLEIADeS**.

Investigador principal (nombre y apellidos): Alfonso Calera Belmonte y Anna Osann

Entidad financiadora: Comunidad Europea

Duración (fecha inicio: 15/09/2006 - fecha fin: 31/12/2012

Financiación recibida (en euros): 2.697.000 €

Relación con el proyecto que se presenta: mismo tema/está muy relacionado/está algo relacionado/sin relación

Estado del proyecto o contrato: terminado

9. Investigador del equipo de investigación que participa en el proyecto: Maria del Carmen Recondo González

Referencia del proyecto: CGL2008-01083/CLI

Título: FIREGLOBE, Analysis of fire risk scenarios at national and global scales.

Investigador principal (nombre y apellidos): Emilio Chuvieco Salinero

Entidad financiadora: Ministerio de Educacion y Ciencia, Plan Nacional (2008-2011)

Duración (fecha inicio: 1/01/2009 - fecha fin: 31/12/2011

Financiación recibida (en euros): 238.370 €

Relación con el proyecto que se presenta: mismo tema/está muy relacionado/está algo relacionado/sin relación

Estado del proyecto o contrato: terminado

10. Investigador del equipo de investigación que participa en el proyecto/contrato (nombre y apellidos): Maria del Carmen Recondo González y Javier Fernández Calleja.

Referencia del proyecto: CTM2014-52021-R

Título: Caracterización y evolución de la cubierta nival y su efecto en el régimen térmico del permafrost y la capa activa en las islas Livingston y Decepción (Antártida).

Investigador principal (nombre y apellidos): Miguel Ángel de Pablo Hernández (Universidad de Alcalá)

Entidad financiadora: Ministerio de Economía y Competitividad (Proyectos de I+D+I, del Programa Estatal de Investigación, Desarrollo e Innovación Orientada a los Retos de la Sociedad. Convocatoria 2014)

Duración: fecha inicio: 01/01/2015 hasta: 31/12/2018

Financiación recibida (en euros): 240.000,00 €

Relación con el proyecto que se presenta: mismo tema/está muy relacionado/está algo relacionado/sin relación

Estado del proyecto o contrato: concedido recientemente.

Parte C: DOCUMENTO CIENTÍFICO

C.1. PROPUESTA CIENTÍFICA

Introducción

Avances científicos y técnicos indican que existe todavía un importante margen para incrementar la cantidad y calidad de la producción por unidad de superficie de los cultivos en los sistemas agrícolas (Grassini *et al.*, 2013) (Cassman, 1999). Un punto crucial para mejorar el rendimiento es un adecuado manejo del agua y de la fertilización, lo que llevaría a la consecución del rendimiento óptimo, que reportaría más beneficios a los agricultores y mejor conservación de los ecosistemas agrícolas. Esto en paralelo a futuras mejoras basadas en el potencial productivo de nuevas variedades y a una adecuada rotación de cultivos que mantenga la fertilidad de los suelos.

Este adecuado manejo consiste esencialmente en ajustar el suministro de agua y fertilizantes a las demandas en el espacio y en el tiempo del cultivo, el cual se desarrolla en unas condiciones climáticas y de suelo determinadas. Este ajuste incrementaría la eficiencia en el uso del agua y la fertilización, consiguiendo así mayor beneficio por unidad de producto y una gestión más sostenible por reducción de contaminación indeseada (Tilman *et al.*, 2002). La tendencia al desarrollo de una agricultura de precisión, o site-specific, en la que se adecúen las demandas a los suministros en el espacio y el tiempo es posiblemente el cambio más significativo en la agricultura en las últimas décadas (Pinter *et al.*, 2003).

A pesar de la potencialidad señalada, el desarrollo de la agricultura de precisión y su salto desde las parcelas experimentales a las parcelas en producción comercial se enfrenta a la necesidad de disponer de mapas que provean la información de la distribución espacial y temporal de las demandas de agua y nitrógeno del cultivo para ser manejada por la maquinaria de dosis variable.

Las técnicas de observación de la Tierra parecen ser la herramienta natural para producir los mapas que se requieren. Esto es así porque el desarrollo, el vigor de la vegetación, y su variabilidad espacial, son los mejores indicadores de las demandas de agua y nitrógeno, pues ese desarrollo y el rendimiento final son fruto de la acumulación de biomasa, integrando la respuesta del cultivo al suelo, clima y manejo. Y es conocido que las imágenes registradas por sensores multiespectrales bien a bordo de satélites o aerotransportados son capaces de describir de forma precisa el estado de la cubierta vegetal del cultivo y su dinámica espacial y temporal a lo largo de su ciclo de crecimiento, como ninguna otra forma puede hacerlo, en sinergia con sensores en tierra.

La disponibilidad y acceso a los datos suministrados por sensores espaciales de observación de la Tierra es actualmente una realidad, así como la contrastada calidad de los mismos, lo que permite describir con alta resolución espacial y temporal la cubierta vegetal en tiempo real. El programa Landsat permite un acceso gratuito a las imágenes con reflectividad en superficie en un período no superior a 48 horas al paso del satélite con una revisita de 16 días (8 en las áreas de solape) (<http://landsat.usgs.gov/landsat8.php>). Dentro del programa Copernicus de ESA, se ha puesto en órbita recientemente, el 23 de Junio de 2015, el satélite Sentinel-2, con una resolución espacial de 10 m, un período de revisita de 10 días y acceso público a datos de calidad previsiblemente similar al programa Landsat (<https://earth.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2>). Otras misiones ya operativas y utilizadas en aplicaciones agrícolas como DEIMOS, SPOT, FORMOSAT, WORLDVIEW2, etc. complementan la constelación de estos satélites. Añadido a esto, existe un desarrollo instrumental en tierra (radiómetros de campo, GPS, UAV, red de estaciones meteorológicas, sensores de humedad,...) que permite acercar la tecnología a distintas escalas al usuario desde el punto de vista técnico y económico. Es una situación que podríamos calificar como “Edad de Oro de la Teledetección”, al existir una sinergia de datos disponibles y grandes posibilidades de aplicación en áreas como la agricultura de precisión.

Finalidad del proyecto

La propuesta que se presenta pretende obtener los mapas de las necesidades de agua y de fertilización nitrogenada N de la cubierta requeridas para la acumulación de biomasa utilizando como input básico la reflectividad espectral de la cubierta, integrada en modelos de balance de agua y nitrógeno. La hipótesis básica a investigar es que la reflectividad espectral de la cubierta, integrada en los mecanismos básicos de crecimiento de la vegetación que relacionan el ritmo de acumulación de

biomasa con el ritmo de transpiración y con el de absorción de la radiación solar, puede producir la mejor estimación espacio temporal de acumulación de biomasa, y en un paso posterior de la cosecha. El ritmo de acumulación de biomasa determina a su vez las demandas de agua y N, pues están intrínsecamente relacionadas.

En último término se pretende demostrar que la tecnología de observación de la tierra permite producir los mapas de necesidades de agua, de N y biomasa en tiempo real, a la resolución espacial y temporal adecuada, y distribuirlos a los usuarios en tiempo y forma oportunos para su uso operativo mediante las tecnologías de la información (webSIG).

Antecedentes y estado del arte

La utilización de series temporales de la respuesta espectral de la cubierta ha sido ampliamente utilizada desde los albores de la teledetección para estimar la biomasa, cosecha, nitrógeno, y evapotranspiración, bien desde medidas en tierra mediante radiómetros (Pinter *et al.*, 2003) (Calera *et al.*, 2004; Hatfield *et al.*, 1984, 2008; Wiegand and Richardson, 1990), o imágenes multispectrales (Bolton and Friedl, 2013; Lobell *et al.*, 2005). Un gran número de relaciones empíricas han sido descritas derivadas de la reflectividad espectral en determinados momentos de la fenología. También se ha señalado en muchas ocasiones el carácter local y su dependencia del cultivo y de las condiciones climáticas locales como limitación de estos enfoques.

Emerge pues la necesidad de un enfoque más integrado. La línea de investigación que aquí se formula tiene en cuenta todo el ciclo de crecimiento y combina la descripción de la evolución del cultivo mediante series temporales de imágenes con los mecanismos básicos de crecimiento del cultivo; aprovecha que la serie temporal de imágenes permite describir cómo la cubierta vegetal captura la radiación solar y evoluciona en su interacción con el medio, y por tanto su dinámica de crecimiento. Así pues tiene en cuenta que la biomasa se acumula al transpirar y capturar las plantas la radiación solar en un muy complejo proceso del sistema suelo-planta-atmósfera y que esta acumulación refleja la historia completa del ciclo de crecimiento. En último término pretende integrar las imágenes en los modelos básicos de crecimiento de los cultivos.

Entre los fundamentos en los que se apoya la propuesta destaca la conocida relación lineal entre biomasa y transpiración, que ha sido observada experimentalmente desde los inicios del siglo XX (Perry *et al.*, 2009; Tanner and Sinclair, 1983). La denominada “productividad del agua en términos de transpiración” $WP_{(T)}$, (kg de biomasa/m³ de agua transpirada) es prácticamente constante, mostrando diferencias solo entre grandes grupos de cultivos. Para un mismo cultivo las diferencias entre variedades es muy pequeña y la variabilidad se debe fundamentalmente a las diferentes condiciones climáticas (Steduto *et al.*, 2005), lo que es el fundamento de las denominadas funciones de producción adoptadas por Doorembos and Kassam, (1977) en el manual *Yield response to water* FAO33 y su adecuación 35 años después por Steduto *et al.*, (2012) en el manual *Crop yield response to water* FAO66. La estimación de la biomasa requiere pues del conocimiento de la productividad del agua para el cultivo y la determinación de la transpiración.

Para su crecimiento las plantas transforman mediante la fotosíntesis la radiación fotosintéticamente activa absorbida APAR, en biomasa. Este hecho fue formulado cuantitativamente por Monteith (1972) dando lugar al modelo de crecimiento denominado “eficiencia en el uso de la luz” LUE. Este modelo ha permitido la introducción directa de la teledetección en su formulación, pues la respuesta espectral de la cubierta proporciona el mejor, y muchas veces único, modo de determinar la fracción de radiación fotosintéticamente activa absorbida fAPAR. Esto ha llevado a una amplia utilización de esta modelización a todos los ecosistemas y no solamente los cultivos (Moreno *et al.* 2012), siendo el principal obstáculo la estimación precisa del valor de coeficiente LUE y del estrés que lleva a la reducción del crecimiento potencial. El desarrollo de torres de medida del flujo de dióxido de carbono capturado por la cubierta mediante el procedimiento de covarianza de torbellinos ha permitido generalizar la estimación directa del CO₂ capturado por la cubierta para muchos ecosistemas; aplicación a cultivos de maíz, soja, etc. ha sido analizada ampliamente en los trabajos de Gitelson *et al.* (2008).

Ambos enfoques, el de la productividad del agua y el de la eficiencia en el uso de la luz son complementarios en el sentido de que el cultivo como cualquier otro ecosistema crecerá al ritmo que imponga el factor limitante de los aquí considerados: radiación, agua y nitrógeno. La aparición de estrés se traduce en una reducción en el ritmo de transpiración debido al cierre estomático, y en la misma proporción se reduce la conversión de la radiación absorbida a materia seca.

Dado que la transpiración es el motor del crecimiento de la vegetación, la clave de esta propuesta para obtener la biomasa se basa en que es posible la determinación precisa de la transpiración de la cubierta. Esta transpiración se determina haciendo uso del procedimiento descrito en Allen et al., (1998) utilizando para ello el coeficiente de cultivo basal obtenido desde la serie de imágenes multiespectrales junto a la evapotranspiración de referencia derivada de datos meteorológicos, integrado en un balance de agua para el cálculo del coeficiente de estrés hídrico.

El grupo que formula la propuesta viene trabajando desde más de una década en la línea de determinación de la transpiración T de la cubierta desde imágenes multiespectrales, tanto en proyectos del plan nacional como EBHE, MORE, CERESS como en los europeos SIRIUS, PLEIADeS y DEMETER, y con ello la determinación de las necesidades de agua de la cubierta y de las necesidades de riego del cultivo. En estos proyectos se ha avanzado sustancialmente en la determinación de la transpiración real de una cubierta desde las series temporales densas de imágenes multiespectrales (Campos *et al.*, 2010); (Sánchez *et al.*, 2012); (Gonzalez-Dugo *et al.*, 2009), metodología que puede considerarse madura y fiable (Glen *et al.*, 2011). En el proyecto del Plan Nacional denominado CERESS, 2010-2013, antecedente a esta propuesta, se ha abordado el acople de modelos basados en el balance de energía y balance de agua, basados ambos en sensores remotos, para estimar la evapotranspiración y su partición entre transpiración y evaporación, así como el estrés de la cubierta. Los avances realizados y el conocimiento acumulado en los citados anteriores proyectos permiten razonablemente estimar de forma separada el agua transpirada tanto en cultivos como en cubiertas de vegetación natural (Campos *et al.*, 2013), siendo necesarios, como es obvio, refinamientos e investigaciones adicionales.

El paso que se propone abordar ahora es integrar las medidas desde las imágenes en los modelos de crecimiento de los cultivos CGM (Crop Growth Model), lo que parece a priori una atractiva e innovadora idea, pues combina la información actual de la cubierta proporcionada por la serie de imágenes con el conocimiento agronómico acumulado que estos modelos incorporan (Thorp *et al.* 2012). Estos CGMs suponen la integración del conocimiento acumulado de la ecofisiología de los cultivos para simular cuantitativamente el proceso de crecimiento de cada cultivo en las condiciones especificadas de agua y nutrientes. Todos los CGM utilizan como motor del crecimiento bien el modelo basado en la productividad del agua, bien el modelo de eficiencia en el uso de la luz, o ambos, aplicando el principio que la limitación de un factor, agua, luz y nutrientes es el que condiciona la acumulación de biomasa.

En algunos casos estos modelos describen el crecimiento del cultivo a través del Índice de Área Foliar LAI, por lo que el modo en que se ha abordado la integración de las imágenes ha sido a través de este parámetro, bien en forma directa desde la reflectividad espectral, bien invirtiendo el modelo radiativo (Maas, 1993). La aplicación al trigo derivando el LAI a partir de las imágenes en el sur de España se evalúa por Padilla *et al.*, (2013).

Se pretende un paso más con la selección de AQUACROP (Steduto *et al.*, 2012), que es el CGM heredero de la ecuación original de Doorembos and Kassam, (1977). Este importante modelo se basa en la relación proporcional entre transpiración y biomasa, y normaliza la productividad del agua utilizando para ello la evapotranspiración de referencia. Incorpora el coeficiente de cultivo basal, análogo a un coeficiente de transpiración, para el cálculo de la componente transpirativa lo cual le hace especialmente atractivo para la integración de las series temporales de imágenes que permiten determinar este parámetro y/o la fracción de cubierta vegetal verde; está específicamente dedicado a los cultivos herbáceos y aborda detalladamente el cálculo del índice de cosecha, factor que expresa la fracción de la biomasa que da el rendimiento, y cuya variabilidad es muy importante en la determinación de la cosecha.

Propuesta metodológica

Teniendo en cuenta el estado del arte descrito en esta propuesta se evaluarán cuatro modelos para la estimación de biomasa como son:

(a) relación empírica directa entre respuesta espectral y la biomasa/rendimiento,

(b) formulación simple de acuerdo con los modelos clásicos de productividad del agua WP y de eficiencia en el uso de la luz ϵ , por la que el ritmo de acumulación de biomasa B es función de los ritmos a los que la cubierta transpira y captura radiación fotosintéticamente activa, en la forma que se expresa en la ec. 1

$$B = \min [WP * T; \epsilon * APAR * K's] \quad (1)$$

Donde la transpiración actual T y la radiación fotosintética activa absorbida APAR se calculan utilizando por un lado imágenes multiespectrales para obtener el coeficiente de cultivo basal y la fracción de radiación fotosintética activa $fAPAR$, y por otro lado información meteorológica para obtener la evapotranspiración de referencia y radiación incidente. Los coeficientes de estrés (K_s) se estimarán desde el balance de agua y el acople con los modelos de balance de energía.

(c) el procedimiento de cálculo utilizando la ecuación original usada por Doorenbos and Pruitt, (1977), incorporando el rendimiento máximo actual desde cultivos “excelentes”.

(d) integración de la serie temporal de imágenes en Aquacrop.

El paso de la biomasa al rendimiento mediante el Índice de Cosecha se abordará de acuerdo con el procedimiento indicado en Aquacrop y el basado en la fracción de agua transpirada después de anthesis (Sadras and Connors, 1991)

Fertilización nitrogenada

La fertilización nitrogenada descansa conceptualmente sobre el balance del nitrógeno, en el que se consideran: las aportaciones tanto en forma de fertilizante granulado como en el agua de riego, el ciclo del N en el suelo teniendo en cuenta el N preexistente, la mineralización y el lixiviado, y el incorporado en la biomasa por el cultivo (Huggins et al., 1993). El N absorbido por el cultivo depende no solamente de la biomasa sino de la concentración de N en ella, que sigue las denominadas curvas de dilución (Justes et al., 1994).

El aspecto de la fertilización nitrogenada se aborda en esta propuesta en una doble vía complementaria; la primera de ella se fundamenta en la estimación de la absorción de N por el cultivo de acuerdo con la acumulación de biomasa, la cual es estimada como se ha descrito anteriormente. El balance de N de acuerdo a los procedimientos clásicos señalados permitirá la determinación de las necesidades de fertilización nitrogenada. La hipótesis que se formula es que la mejora en la estimación del crecimiento de la biomasa y su distribución espacial y temporal permite realizar un balance de N dinámico en el tiempo y mejorar sustancialmente la determinación espacio temporal de las necesidades de N.

La segunda vía a evaluar en la propuesta para la determinación del contenido de N en el cultivo es la que utiliza la reflectividad espectral. Usualmente los procedimientos directos muestran limitaciones ligadas a las condiciones locales en que se derivan las relaciones, similares al caso de la biomasa; procedimientos más ajustados requieren de bandas de referencia en tierra. En algunos casos procedimientos basados en índices clásicos están siendo usados operativamente para estimar la distribución espacial de la fertilización nitrogenada. Recientemente ha merecido atención la estimación directa del contenido en N desde la respuesta espectral vía índices basados en las bandas espectrales “red-edge”, que precisamente incorpora el sensor SENTINEL2a, (Clevers and Gitelson, 2013) (Holland and Scheepers, 2010), ya en órbita.

Los participantes en la propuesta tienen larga experiencia en el cálculo de balances de N y su dinámica en el cultivo y en el suelo en proyectos anteriores (GIN -Gestión Integral del Nitrógeno en Castilla La Mancha- y LIFEagroasesor). El avance que se pretende es introducir la variabilidad espacial capturada por las imágenes sobre el cuerpo de conocimientos actual del ciclo de N. La experiencia adquirida lleva a determinar estrategias de fertilización que pueden ser adaptadas a los actuales sistemas de aplicación y obviamente ser implementados en maquinaria que permita aplicación en dosis variable.

La propuesta que se presenta es ambiciosa al afrontar el auténtico desafío que es estimar la demanda de agua y fertilización nitrogenada espacialmente distribuida de los cultivos para la obtención de una cosecha óptima, utilizando como input básico series temporales densas de imágenes multiespectrales. Innovadora al utilizar modelos clásicos robustos para incorporar en ellos la variabilidad espacial desde las series temporales de imágenes tratando de superar así limitaciones de relaciones directas empíricas y comparar con otros modelos complejos. Viable porque, por un lado existen las condiciones materiales para hacerlo, y por otro si cabe más importante se ha reunido un equipo multidisciplinar que aporta un gran conocimiento previo que permitirá producir los avances esperados.

Bibliografía seleccionada

- Bolton, D.K. and Friedl, M.A., 2013. Forecasting crop yield using remotely sensed vegetation indices and crop phenology metrics. *Agric. For. Meteorol.*, 173: 74-84.
- Calera, A., González-Piqueras, J. and Melia, J., 2004. Monitoring barley and corn growth from remote sensing data at field scale. *International Journal of Remote Sensing*, 25(1): 97-109.

- Campos, I., Neale, C.M.U., Calera, A., Balbontin, C. and González-Piqueras, J., 2010. Assessing satellite-based basal crop coefficients for irrigated grapes (*Vitis vinifera* L.). *Agricultural Water Management*, 98: 45-54.
- Campos, I., Villodre, J., Carrara, A. and Calera, A., 2013. Remote sensing-based soil water balance to estimate Mediterranean holm oak savanna (*dehesa*) evapotranspiration under water stress conditions. *Journal of Hydrology*, 494: 1-9.
- Cassman, K.G., 1999. Ecological intensification of cereal production systems: Yield potential, soil quality, and precision agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 96(11): 5952-5959.
- Clevers, J.G.P.W. and Gitelson, A.A., 2013. Remote estimation of crop and grass chlorophyll and nitrogen content using red-edge bands on Sentinel-2 and -3. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 344-351: 23.
- Doorenbos, J. and Pruitt, W.O., 1977. Guidelines for predicting crop water requirements. *Irrigation and Drainage Paper No. 24*, FAO, Rome, Italy.
- Gitelson, A.A., Vina, A., Masek, J.G., Verma, S.B. and Suyker, A.E., 2008. Synoptic monitoring of gross primary productivity of maize using Landsat data. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 5: 133-137.
- Glenn, E.P., Neale, C.M.U., Hunsaker, D.J. and Nagler, P.L., 2011. Vegetation index-based crop coefficients to estimate evapotranspiration by remote sensing in agricultural and natural ecosystems. *Hydrological Processes*, 25: 4050-4062.
- Gonzalez-Dugo, M.P. et al., 2009. A comparison of operational remote sensing-based models for estimating crop evapotranspiration. *Agricultural and Forest Meteorology*, 149(11): 1843-1853.
- Grassini, P., Eskridge, K.M. and Cassman, K.G., 2013. Distinguishing between yield advances and yield plateaus in historical crop production trends. *Nature Communications*, 4: 2918.
- Hatfield, J.L., 1983. Remote sensing estimators of potential and actual crop yield. *Remote Sensing of Environment*, 13(4): 301-311.
- Hatfield, J.L., Gitelson, A.A., Schepers, J.S. and Walthall, C.L., 2008. Application of Spectral Remote Sensing for Agronomic Decisions *Agron. J.*, 100(Supplement_3): S-117-S-131.
- Holland, K.H. and Schepers, J.S., 2010. Derivation of a variable rate nitrogen application model for in-season fertilization of corn. *Agronomy Journal*, 102: 1415-1424.
- Huggins, D.R. and Pan, W.L., 1993. Nitrogen efficiency component analysis: an evaluation of cropping system differences in productivity. *Agron. J.*, 85: 898-905.
- Justes, E., Mary, B., Meynard, J., Machet, J. and Thelier-Huche, L., 1994. Determination of a critical nitrogen dilution curve for winter wheat crops. *Annals of Botany*, 74: 397-407.
- Lobell, D.B., Ortiz-Monasterio, J.I., Asner, G.P., Naylor, R. and Falcon, W., 2005. Combining field surveys, remote sensing, and regression trees to understand yield variations in an irrigated wheat landscape. *Agronomy Journal*, 97(1): 241-249.
- Maas, S.J., 1993. Within-Season Calibration of Modeled Wheat Growth Using Remote Sensing and Field Sampling. *Agron. J.*, 85: 669-672.
- Monteith, J.L., 1972. Solar Radiation and Productivity in Tropical Ecosystems. *Journal of applied ecology*, 9: 747-766.
- Moreno, A. et al., 2012. Assessment of MODIS imagery to track light-use efficiency in a water-limited Mediterranean pine forest. *Remote Sensing of Environment*, 123: 359-367.
- Padilla, F.L.M. et al., 2012. Monitoring regional wheat yield in Southern Spain using the GRAMI model and satellite imagery. *Field Crops Research*, 130(0): 145-154.
- Perry, C., Steduto, P., Allen, R.G. and Burt, C.M., 2009. Increasing productivity in irrigated agriculture: Agronomic constraints and hydrological realities. *Agricultural Water Management*, 96(11): 1517-1524.
- Pinter, J., P.J., Hatfield, J.L., Scheepers, J.S., Barnes, E. M., Susan Moran, M., Daughtry, C.S.T., and Upchurch, D.R., 2003. Remote Sensing for Crop Management. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 69(6): 647-664.
- Raes, D., Steduto, P., Hsiaoc, T.C. and Fereresd, E., 2008. AquaCrop—The FAO Crop Model to Simulate Yield Response to Water: II. Main Algorithms and Software Description. *Agronomy Journal*, 101: 438-447.
- Sadras, V.O., Connor, D.J., 1991. Physiological basis of the response of harvest index to the fraction of water transpired after anthesis. A simple model to estimate harvest index for determinate species. *Field Crop Research*, 26, 227-239.
- Sánchez, N. et al., 2012. Water balance at plot scale for soil moisture estimation using vegetation parameters. *Agricultural and Forest Meteorology*, 166–167(0): 1-9.

- Steduto, P. and Albrizio, R., 2005. Resource use efficiency of field-grown sunflower, sorghum, wheat and chickpea II. Water use efficiency and comparison with radiation use efficiency. *Agricultural and Forest Meteorology*, 130: 269–281.
- Steduto, P., Hsiao, T.C., Fereres, E. and Raes, D., 2012. FAO Irrigation and drainage paper 66. Crop yield response to water, Rome (Italy).
- Tanner, C.B. and Sinclair, T.R., 1983. Efficient water use in crop production: Research or Research? In: W.R.J.a.T.R.S. H.M. Taylor (Editor), *Limitations to Efficient Water Use in Crop Production*. Amer. Soc. Agron, Madison, WI, USA. .
- Thorp, K.R. et al., 2012. Estimating crop biophysical properties from remote sensing data by inverting linked radiative transfer and ecophysiological models. *Remote Sensing of Environment*, 124: 224–233.
- Tilman, D., Cassman, K.G., Matson, P.A., Naylor, R. and Polasky, S., 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, 418: 671–677.
- Wiegand, C.L. and Richardson, A.J., 1990. Use of spectral vegetation indices to infer leaf area, evapotranspiration and yield: I. Rationale. *Agron. J.*, 82: 623–629.

2. La hipótesis de partida y los objetivos generales perseguidos, así como la adecuación del proyecto a la Estrategia Española de Ciencia y Tecnología y de Innovación y, en su caso, a Horizonte 2020 o a cualquier otra estrategia nacional o internacional de I+D+i. Si la memoria se presenta a la convocatoria de RETOS, deberá identificarse el reto cuyo estudio se pretende abordar y la relevancia social o económica prevista.

La hipótesis de partida es que la estimación de la acumulación de biomasa de los cultivos y su distribución en el espacio y en el tiempo a lo largo del ciclo de crecimiento puede realizarse de forma suficientemente precisa incorporando en los modelos clásicos de crecimiento y desarrollo de cultivos, la respuesta espectral derivada de series temporales densas de imágenes multiespectrales, así como información meteorológica y propiedades de los suelos. La estimación de la acumulación de biomasa determina las necesidades de agua y fertilización nitrogenada mediante los balances de agua y nitrógeno.

El objetivo general es construir una herramienta de diagnóstico que permita conocer en el espacio y en el tiempo las demandas de agua y fertilización nitrogenada del cultivo, para así poder ajustar mejor el suministro de estos insumos a dichas demandas para conseguir una optimización del rendimiento y una mejora en la sostenibilidad de los ecosistemas agrarios, al incrementar la eficiencia en el uso de fertilizantes y agua.

El uso de plataformas webSIG como SPIDER y Agroasesor, desarrolladas en anteriores y actuales proyectos por el equipo participante en esta propuesta permitirá poner a disposición del usuario final la información requerida en tiempo y forma adecuados.

La finalidad del proyecto es pues evaluar la metodología propuesta e implementar un prototipo que permita proveer la información a los agricultores y otros usuarios como administraciones al cargo de la gestión del agua y medioambiente.

2. adecuación del proyecto a la Estrategia Española de Ciencia y Tecnología y de Innovación y, en su caso, a Horizonte 2020 o a cualquier otra estrategia nacional o internacional de I+D+i.

Esta propuesta formula una investigación de carácter interdisciplinar al movilizar el conocimiento complementario de grupos que trabajan en teledetección, producción y fertilización de cultivos, aunando una gran experiencia en sus respectivos ámbitos. El objeto de la propuesta y su complejidad, esto es contribuir a una mayor eficiencia en el uso del agua y los fertilizantes nitrogenados en cultivos, que redundaría en incremento de producción y/o reducción de costes en la producción agrícola, requiere necesariamente esta multidisciplinariedad.

Esta propuesta se adscribiría de forma principal al reto R2 “*Seguridad, calidad alimentaria; actividad agraria productiva y sostenible; sostenibilidad de los recursos naturales, investigación marina y marítima*”, dando respuesta a los retos medioambientales, económicos y sociales relacionados con la producción y gestión sostenible de la agricultura, al contribuir a una mayor eficiencia en el uso del

agua y los nutrientes en cultivos, lo que redundaría en incremento de producción y/o reducción de costes en la producción agrícola, una gestión del agua eficaz en la agricultura de regadío y la reducción de contaminación por exceso de fertilización en suelos, tanto en secanos como en regadío, y por arrastre por lavado en agua subterránea por exceso de fertilización, problema abordado en la directiva europea de nitratos.

Dentro de este reto el Plan Estatal 2013-2016 indica expresamente como prioridades de investigación la “*CONSERVACIÓN Y GESTIÓN INTEGRAL, EFICIENTE Y SOSTENIBLE DE LOS SISTEMAS AGROECOLÓGICOS...*” y señala entre otros aspectos los de “(i) mejoras tecnológicas, de gestión, manejo y uso eficiente del agua en los regadíos, ... (v) aplicación de los SIG, teledetección, y TIC a la gestión de los recursos naturales y los sistemas agroalimentario, ... (vi) gestión y tratamiento sostenible de los recursos hídricos” todos ellos abordados de forma directa en este proyecto.

El proyecto que aquí se presenta tiene carácter transversal pues también da respuesta al reto R5 “*Acción sobre el cambio climático y eficiencia en la utilización de recursos y materias primas*”,

Este proyecto se encuadra también dentro del programa de la Comisión Europea H2020, dando respuesta a los denominados “Societal Challenges”, y dentro de ellos al programa “Food Security, Sustainable Agriculture and Forestry, Marine, Maritime and Inland Water Research and the Bioeconomy”; Como se mencionó en el apartado B.2, en el programa H2020 se ha iniciado el proyecto FATIMA (FARming Tools for external nutrient Inputs and water Management), liderado también por el grupo de la UCLM que presenta esta propuesta. El proyecto HERMANA es complementario a FATIMA, diferenciándose en los objetivos, al incidir HERMANA en la integración de datos remotos en modelos de crecimiento y en los cultivos, y al abordarse también el trigo en secano. La sinergia entre ambos proyectos puede ser importante y enriquecedora, asegurando el impacto de los resultados obtenidos en HERMANA en el ámbito internacional europeo.

3. Los objetivos específicos, enumerándolos brevemente, con claridad, precisión y de manera realista (acorde con la duración prevista del proyecto).

En los proyectos con dos investigadores principales, deberá indicarse expresamente de qué objetivos específicos se hará responsable cada uno de ellos.

La consecución del objetivo general señalado requiere a su vez de varios objetivos específicos como son:

1.- Estimar la acumulación de biomasa y su variabilidad espacial y temporal y en un paso posterior la cosecha mediante la integración de series temporales densas de imágenes en modelos de crecimiento de cultivos. Coordinador: Alfonso Calera Belmonte

2.- Estimar las necesidades de nitrógeno y su variabilidad espacial y temporal, mediante la integración de datos remotos en los modelos de balance de nitrógeno. Coordinador: José González-Piqueras.

3.- La determinación de las necesidades de agua y de riego del cultivo y su variabilidad espacial y temporal, mediante la integración de series temporales densas de imágenes en los modelos de balance de agua. Coordinador: Alfonso Calera Belmonte

La consecución de estos objetivos requiere a su vez de una serie de actividades y tareas que se desglosan en la metodología; la distribución de objetivos por áreas temáticas entre los IP será:

- Teledetección, Series temporales y asimilación de datos remotos, Coordinador Jose Gonzalez-Piqueras
- Integración de modelos, diseño ejecución de la experiencia, análisis e implementación del prototipo: Coordinador: Alfonso Calera

4. El detalle de la metodología propuesta, incluyendo la viabilidad metodológica de las tareas. Si fuera necesario, también se incluirá una evaluación crítica de las posibles dificultades de un objetivo específico y un plan de contingencia para resolverlas.

La metodología de la investigación la componen una serie de actividades y tareas dirigidas a obtener la distribución espacial y evolución temporal de la biomasa de cultivos, sus necesidades de agua y fertilización nitrogenada, utilizando como inputs secuencias temporales de imágenes multiespectrales y meteorología, de acuerdo con el estado del arte presentado.

EQUIPO HUMANO

El importante equipo humano que formula la propuesta y desarrolla las actividades y tareas previstas se relaciona en la Tabla 1 desglosado en el equipo de investigación y de trabajo, de acuerdo con la terminología de la convocatoria. Convergen tres instituciones españolas, Universidad de Castilla La Mancha, UCLM, Instituto Técnico Provincial de Albacete, ITAP, y la Universidad de Oviedo, UNIOVI, incorporándose también en el equipo de trabajo el R. B. Daugherty Water for Food Institute de la Universidad de Nebraska, USA, UN, la Ecole Polytechnique - Université Paris Saclay, EP, y un consultor agronómico con un amplio conocimiento profesional de la agronomía que asegura el enlace con las fincas a incorporar en la experiencia. El grupo de UCLM aporta su conocimiento sobre series de imágenes y seguimiento de la evapotranspiración de cultivos, UNIOVI aporta el procesamiento de imágenes de muy alta resolución espectral y espacial; ITAP aúna conocimientos en fertilización y manejo agronómico, transferencia de resultados al sector agrario y servicios de asesoramiento en fertilización y riego. El grupo de UN está mundialmente reconocido en técnicas de teledetección aplicadas a la mejora de producción agraria, y EP.

Equipo humano del proyecto HERMANA			
Institución	Nombre	Dedicación	Acrónimo
Equipo de investigación			
UCLM	Dr. Alfonso Calera Belmonte	100%	ACB
UCLM	Dr. Jose Gonzalez-Piqueras	100%	JGP
UCLM	Dr. Manuel Valiente	100%	MV
UCLM	Dr. Jose Reyes Ruiz	50%	JRR
UCLM	Lic. Antonio Quintanilla Rodenas	50%	AQR
ITAP	Dr. Horacio López Córcoles	50%	HLC
ITAP	Ing. Fernando de la Cruz Tercero	50%	FCT
UNIOVI	Dr. Carmen Recondo González	50%	CRG
UNIOVI	Dr. Javier Fernández Calleja	50%	JFC
UPOLP	Dra. Maria Llanos López González	100%	MLG
Equipo de trabajo			
UCLM	Dr. Anna Osann,		AO
UN	Dr. Christopher M. U. Neale		CN
UN	Dr. Isidro Campos Rodríguez		ICR
UCLM	Laura Gonzalez Gómez		LGG
CITAL	Vicente Bodas González		VB
UCLM	Jesus Garrido Rubio		JGR
UCLM	Julio Villodre Carrilero		JVC
UCLM	Mario Belmonte Mancebo		MBM
UCLM	Irene Arellano Alcázar		IAA
UNIOVI	Juan José Peón García		JP

ACTIVIDADES Y TAREAS

Parte central de la propuesta son aquellas actividades y tareas de calibración/validación que permitan evaluar las hipótesis de partida y metodología propuestas. La investigación requiere necesariamente la calibración y validación con datos medidos experimentalmente. La experiencia previa nos hace conscientes de la dificultad tanto intrínseca a la propia medida experimental como a la representatividad. Garantizar la viabilidad del proyecto lleva por un lado a un diseño experimental que utiliza parcelas en producción manejadas por agricultores que aportan representatividad y de entre las cuales se desarrollará la experimentación. Así, el diseño experimental se focalizará en dos grupos de parcelas para dos cultivos principales por campaña: (i) Dos parcelas productivas a nivel extensivo y (ii) Un conjunto total de 12 microparcels de 5 m x 10 m para estudio intensivo.

ACTIVIDAD 1.- Conjunto de Parcelas en producción.

Se dispondrá de un conjunto de parcelas representativo con cultivo de trigo en secano dentro del área de la provincia de Albacete. Es obvio que un conjunto de parcelas así requiere constituir un importante grupo de explotaciones de secano en el que los agricultores y técnicos que las dirigen se comprometen con el proyecto a prestar su colaboración en los términos requeridos, facilitar las parcelas y la instalación en ellas de los equipos necesarios y muestreos, y que se beneficiarían de los avances logrados. Lo que hace viable la ejecución del proyecto es que este grupo está constituido y viene operando regularmente en los últimos tres años en el marco del proyecto europeo SIRIUS, y continúa haciéndolo dentro del proyecto FATIMA en un marco de confianza, de intercambio de información y confidencialidad.

Tarea 1.1.- Información anterior al proyecto

Del total de parcelas que formarán el conjunto experimental se dispondrá del itinerario técnico completo y de la producción agregada, facilitado por los agricultores participantes. Sin embargo la variabilidad meteorológica y climática introduce la necesidad de disponer de datos de otros años para validación, lo que es especialmente importante para parcelas de trigo en secano. Dado que existe disponibilidad de imágenes procedentes de todo el archivo Landsat, se incorporarán los datos del itinerario técnico y un conjunto de datos de suelos disponibles de los agricultores participantes, así como de las imágenes correspondientes hasta de una década atrás, constituyendo así un conjunto de datos experimental de gran valor. Se hará un análisis previo de la variabilidad en la producción intraparcelsaria a partir de la secuencia de imágenes. A partir de estos mapas se hará una selección de las parcelas con un espectro de suelos y condiciones de manejo que permitan calibrar los modelos para extenderlos a la zona de estudio. El análisis previo de este archivo, que está en parte ya disponible permite establecer el diseño experimental intensivo con gran precisión.

Tarea 1.2.- Diseño y realización de campañas experimentales

Se procederá a la selección de dos parcelas de entre el conjunto de parcelas disponibles para realizar medidas experimentales cuya evolución temporal se sintetiza en la Fig. 1, tales como:

Medida directa de evapotranspiración y flujo de dióxido de carbono a lo largo de un ciclo de crecimiento mediante covarianza de torbellinos.

Seguimiento de Fenología (Figura 1)

Toma de seis muestras de biomasa (B) y reflectividad (R) a lo largo del ciclo de crecimiento: biomasa seca y contenido en nitrógeno mediante analítica en laboratorio (Figura 1)

Muestreo para determinar índice de cosecha

Muestreo del suelo (S) para determinar sus características para el balance de agua y balance de nitrógeno (Figura 1).

Seguimiento de la humedad del suelo

Mapa espacial del rendimiento (Figura 2).

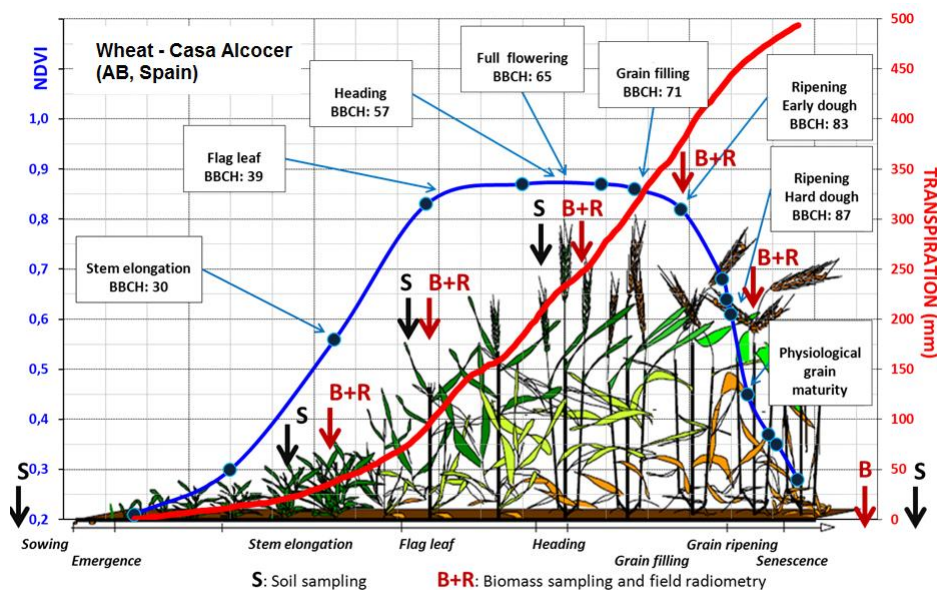


Figura 1. Diseño previsto de la campaña experimental sobre el ciclo de crecimiento típico de un cereal (trigo en Albacete, año 2013) mostrando la curva de NDVI obtenida desde satélite y la ubicación temporal prevista de los muestreos de suelo (S), biomasa (B) y reflectividad (R), junto a la evolución de la transpiración. Se muestra la fenología en la escala BBCH

Sobre las parcelas seleccionadas (dos parcelas por cultivo principal y campaña) se aplicarán tres tratamientos diferenciales de N en forma de bandas con un ancho aproximado de 50 m tal que puedan ser capturadas las diferencias introducidas por el aporte a la resolución de SENTINEL2 (Figura 2). Se distribuirán de acuerdo a principios rigurosos de calibración y validación, de tal forma que los elementos utilizados para calibración no forman parte de la validación.



Figura 2. Mapa en una parcela ejemplo en la zona de estudio indicando la variabilidad del potencial de producción sobre una imagen RGB Landsat8 (escala rojo-azul-violeta : bajo-medio-alto). Se indican las bandas diferenciales de N. Las parcelas cuadradas indican las tres zonas muestrales de biomasa y reflectividad (B+R) y suelo (S) por banda de N. Dentro de estas zonas muestrales se indica el punto donde se ubica la toma de la muestra tanto de biomasa y reflectividad (●) como de suelo (⊙) para darle representatividad estadística.

Adicionalmente a estas bandas, y como se dispone del sistema aerotransportado MUSAS que permite una resolución espacial sub-métrica se plantea un ensayo (uno por cultivo principal y campaña) para estudiar y comprobar la validez de las distintas estrategias de fertilización. El diseño experimental incluye cuatro tratamientos, entre los que se incluye un tratamiento testigo sin N. Los tratamientos de distintas dosis se realizarán en microparcels de 5 m x 10 m con tres repeticiones cada una, mediante un diseño experimental de fila-columna latinizado.

ACTIVIDAD 2.- Descripción de la cubierta vegetal mediante series temporales densas de imágenes multiespectrales

Tiene el objetivo de consolidar la metodología que permite derivar series temporales consistentes integrando los distintos sensores disponibles para operar como una constelación multisensor. Como innovación se incorporará imágenes de SENTINEL2a, lanzado el 23 de Junio de 2015 y operado por la Agencia Espacial Europea. Se espera el lanzamiento de un sensor gemelo Sentinel2b, para 2016 lo que hace realista alcanzar una imagen por semana, y es un plan de contingencia que refuerza la viabilidad del proyecto y su proyección en el futuro. Estos nuevos sensores se unen a aquellos como Landsat, Spot, Deimos, Ikonos, Quickbird, RapidEye, Formosat, WV2 ... sobre los que ya se tiene experiencia. Esta actividad incluye adaptación de algoritmos de corrección atmosférica y sobre todo procedimientos de calibración intersensor. De esta manera se quiere afrontar el problema de la nubosidad, una de las principales limitaciones para alcanzar una alta frecuencia de imágenes. Con este objetivo se utilizarán técnicas de interpolación entre imágenes consecutivas para el rellenado de huecos.

Tarea 2.1.- Adquisición de datos de Teledetección.

Imágenes adquiridas por Landsat8 y SENTINEL2 serán el núcleo de la constelación.. Asimismo se utilizarán aquellas que ponga a disposición el Plan Nacional de Teledetección. De acuerdo al plan de operación de SENTINEL2a, se dispondrían de las primeras imágenes a partir de Septiembre de 2015,

lo que parece realista al tener éxito su puesta en órbita y el suministro de los primeros datos, con un tiempo de revisita de 10 días. Por razones operativas y económicas, nos centramos en imágenes libres y accesibles en tiempo real, operando Landsat8 y Sentinel2a como constelación.

La frecuencia ideal de adquisición de imágenes será la de aproximadamente una imagen por semana, que permitiría una interpolación entre imágenes consecutivas. Las parcelas experimentales se colocarán en la zona de solape entre imágenes Landsat, de tal manera que la frecuencia real de paso de Landsat8 en esta zona es de ocho días. Adicionalmente y como plan de contingencia se utilizarían también las imágenes Landsat7-ETM+, que se alternan con las de Landsat8. La resolución espacial de Landsat es de 30x30 m y la de SENTINEL2 es de 10 x 10 m.

En las parcelas « intensivas » se tiene previsto hacer un seguimiento del cultivo con un sistema de vuelo ligero que lleva a bordo cámaras hiperespectrales (400 a 1000 nm), multiespectrales (RGBNIR), térmicas y fotogramétricas. Se llevarán a cabo al menos 5 vuelos para cada cultivo en fechas seleccionadas de interés, lo que permitirá estudiar el efecto de escala, ya que es posible obtener con este equipo una resolución sub-métrica.

Se realizará también el seguimiento de la reflectividad espectral de alta resolución (400-2400 nm ASD FieldSpec HiRes) mediante radiometría de campo en cada parcela de producción de 12 zonas a nivel de campo donde se adquieran los muestreos de suelo y biomasa. Este equipo es también un segundo plan de contingencia para disponer de imágenes en los momentos más adecuados para el seguimiento en la aplicación de N, en previsión de escasa disponibilidad de imágenes en esos momentos por coincidencia de nubes, etc..

Los productos básicos a obtener en el procesado serán: reflectividad en superficie, temperatura, Índices de vegetación y combinación color (orto-fotografía).

Tarea 2.2.- Procesamientos de imágenes multiespectrales, hiperespectrales y térmicas de muy alta resolución

La utilización del sistema MUSAS, que permite adquirir imágenes de muy alta resolución espectral y espacial requiere implementar operativamente el sistema de ortorectificación y mosaicado, por lo que se le dedica específicamente esta tarea. El equipo de trabajo ya ha implementado la tecnología para generar ortofotografías, ortoimágenes multiespectrales y térmicas con resoluciones submétricas sobre parcelas de hasta 50 ha de extensión.

Tarea 2.3.- Parámetros biofísicos: Nuevas bandas espectrales “red-edge” e índices de vegetación basados en ellas para la determinación del contenido en clorofila y N

Esta tarea se dirige a la actualización y desarrollo de procedimientos para obtener parámetros a partir de la reflectividad como el coeficiente de cultivo basal, fracción de radiación fotosintéticamente activa absorbida, Índice de Área Foliar, Albedo, Contenido en Clorofila y Contenido en Nitrógeno. En particular se desea explotar la nueva resolución espectral y espacial que aporta SENTINEL2a, para evaluar el desempeño de nuevos índices basados en bandas “red-edge” y SWIR. Estos índices merecen investigación específica para la obtención de clorofila y Nitrógeno. Las observaciones a diferentes escalas espaciales permitirán evaluar la mejor resolución para capturar la variabilidad. Se contrastará nuestra hipótesis preliminar de partida de que los 10 m de SENTINEL2a podrían ser adecuados para describir la variabilidad intraparcelsaria.

ACTIVIDAD 3.- Estimación de las necesidades de agua y de riego. Integración de modelos de balance de energía

Tarea 3.1.- Estimación de la transpiración de la cubierta. Necesidades de agua y de riego.

La metodología base para el cálculo de la transpiración de la cubierta es la que deriva el coeficiente de transpiración o coeficiente de cultivo basal desde las reflectividades, integrando este coeficiente en un modelo como FAO56, lo que permitirá la estimación a escala diaria y alta resolución espacial, que con el uso de L8 sitúa alrededor de 0.5 ha, y con SENTINEL2, alrededor de 0.1 ha. Esta metodología se considera madura y operativa; el grupo dispone del conocimiento suficiente tras más de una década de investigación e implementación de este procedimiento. El grupo ha desarrollado en anteriores proyectos de investigación el software Hidromore+®, que permite el cálculo de la transpiración a escala diaria y tamaño de pixel de las imágenes utilizadas como input lo que es una pieza clave para la viabilidad de la propuesta.

Tarea 3.2.- Acoplamiento de modelos de balance de energía y modelos de coeficiente de transpiración derivado de reflectividades.

La consolidación del procedimiento que utiliza coeficientes de transpiración derivados de reflectividades incluye la implementación del modelo de balance de energía de dos fuentes que permite la estimación de forma separada de la evaporación del suelo y la transpiración, y proporciona en las fechas de las capturas de L8 estimaciones de transpiración independientes, lo que permitirá contrastar los resultados incorporando fiabilidad. En esta tarea se determinará la evaporación y la transpiración a escala diaria en las parcelas extensivas a partir de las imágenes Landsat8, y en las parcelas intensivas a partir de las imágenes térmicas (cámara Flir SC650) y multiespectrales (Condor MS4) a bordo del sistema MUSAS adquiridas a muy alta resolución espacial.

Tarea 3.3.- Validación con los datos experimentales de las estimaciones de las necesidades de agua y riego

Se ubicará la estación de covarianza de torbellinos en una de las parcelas de producción para determinar la ET a nivel de parcela. Se ubicarán los sensores de humedad en suelo para hacer un seguimiento del balance de agua en suelo. Ambas medidas se utilizarán para la calibración de los modelos de estimación de necesidades de agua y riego.

ACTIVIDAD 4.- Mapas de biomasa, rendimiento y su validación con datos experimentales

En esta actividad se procederá a la comparación entre los diferentes procedimientos para acercarnos al conocimiento de la acumulación de la biomasa en el espacio y en el tiempo y su comparación con los datos experimentales previstos.

Tarea 4.1.- Producción de mapas de biomasa y rendimiento desde los diferentes modelos

Se ensayarán la suite de modelos anteriormente descritos para la estimación de biomasa/rendimiento, desde relaciones empíricas con reflectividades, índices, aplicación directa de los modelos basados en la productividad del agua y eficiencia en el uso de la luz, el procedimiento original de FAO33, y finalmente modelos más complejos como Aquacrop. Este cálculo se hará a nivel puntual en todas las parcelas bajo estudio (intensivo y extensivo).

Tarea 4.2.- Implementación del modelo AQUACROP “forzado” por las series temporales de imágenes

El modelo AQUACROP “forzados” por las series temporales de imágenes de satélite se aplicarán en modo puntual, dado que la modificación del software necesaria para asimilar la imagen no es posible abordarla en el marco de este proyecto, dada la arquitectura compleja del código.

Tarea 4.3.- Validación de los mapas derivados de los modelos

Los modelos calibrados se validarán con los datos de:

- seguimiento de biomasa por ensayos destructivos en las parcelas de producción dentro de los 12 puntos de muestreo.
- producción primaria bruta (CO₂ absorbido) desde la estación covarianza de torbellinos a escala de parcela.
- Mapas de rendimiento medido mediante cosechadora con monitor GPS o zonificado en las parcelas extendidas. Dicho modelo se validará en las parcelas intensivas con datos a nivel de campo.
- Datos de rendimiento agregado a escala de parcela para el conjunto de parcelas completo.

ACTIVIDAD 5.- Obtención de mapas de nitrógeno absorbido por el cultivo, determinación de las necesidades de fertilización nitrogenada y comparación con datos experimentales

En esta actividad se procederá a la obtención de mapas de nitrógeno absorbido por el cultivo desde los diferentes procedimientos para estimar las demandas de fertilización nitrogenada y se comparará con los datos experimentales.

Tarea 5.1.- Mapas de nitrógeno absorbido en cultivo y fertilización nitrogenada desde los diferentes procedimientos contemplados.

En las parcelas extensivas se determinarán los mapas de N absorbido en cultivo y la fertilización nitrogenada por dos vías: (a) desde las imágenes multiespectrales: reflectividades, índices clásicos,

índices teniendo en cuenta reflectancias “red edge”, y (b) modelos que a partir de la biomasa calculan la absorción y eficiencia de uso del N en el cultivo

Tarea 5.2.- Comparación de los mapas de fertilización con los datos experimentales. Análisis de resultados

Los mapas derivados en la Tarea 5.1 se validarán con la analítica de las 12 muestras recogidas en cada una de las parcelas extensivas.

ACTIVIDAD 6. Estrategias de manejo y fertilización

El objetivo final del proyecto es proporcionar asesoramiento sobre fertilización nitrogenada basándose en los comprobados métodos clásicos fundamentados en un balance de N a los que se suma la información espacio-temporal que proporciona la imagen. En definitiva, se trata de proporcionar una guía clara y precisa a los agricultores de cuándo y cuánto fertilizar. En esta actividad el objetivo es trasladar la experiencia ganada en las actividades anteriores para elaborar criterios de recomendación que puedan ser útiles según las condiciones de manejo de agricultores, influida por los condicionantes de sistema de riego, maquinaria, etc.

Tarea 6.1. Estrategias de fertilización en el regadío

En general, la gran mayoría de agricultores siguen empleando una dosis uniforme para el conjunto del cultivo, por lo que se ofrecerá una guía de fertilización multicriterio, como indica la tabla adjunta. Para aquellos agricultores que empiezan a realizar agricultura de precisión practicando una fertilización con dosis variable se les proporcionará un mapa de dosis para introducir en el controlador del equipo tractor-abonadora.

Teledección	Estrategias de recomendación	Criterios de recomendación
Variabilidad espacial	Uniforme	Criterios de optimización: <ul style="list-style-type: none"> • Minimizar impacto ambiental. • Dosis óptima (técnico económica) • Maximizar producción.
	Variable	Mapa de dosis variable

Tarea 6.2 Estrategias de manejo y fertilización para el secano.

La importancia medioambiental y socioeconómica de los agrosistemas semiáridos mediterráneos resulta incuestionable, tanto por la extensión que ocupan como por su carácter de hábitat de especies singulares. Sin embargo raramente se afrontan mejoras en el manejo por la dificultad que entraña, dado el escaso régimen de precipitaciones y su variabilidad, tanto intra como interanual, pues a esta variabilidad y a las escasas producciones se suele responder usualmente con un patrón uniforme de manejo.

Esto es así porque las posibilidades son muy limitadas; básicamente elección de variedades, fecha de siembra y fertilización, particularmente nitrogenada. Pero su influencia en la producción final y su posible impacto ambiental tienen suficiente entidad como para ahondar en su conocimiento. En este sentido se propone configurar un “sistema de toma de decisiones” agronómicas, en base a la evolución real de los cultivos herbáceos, que constituiría un avance en la asignación racional de insumos de acuerdo a la singularidad de cada campaña, con las favorables consecuencias económicas y ambientales que de ello derivarían.

Generar este “sistema de toma de decisiones” requiere una serie de actividades, que requieren análisis en función de los datos históricos de producciones e imágenes, dada la gran variabilidad que presenta el cultivo de secano, como son:

- Definir, para la climatología de distintos años, patrones que permitan marcar los hitos a alcanzar, cuantitativa y temporalmente, del ciclo de un cultivo tipo que rindiera la producción máxima alcanzable.
- Estudio de la relación fecha de siembra – producción con el fin de identificar ventanas óptimas de fecha de siembra vinculadas a la plasticidad de cada variedad.
- Profundizar en el conocimiento de la relación agua disponible – nitrógeno (requerimientos de unidades fertilizantes por milímetro de agua disponible, aporte procedente de la

mineralización de la materia orgánica, eficiencia en el aprovechamiento de la fertilización) con el fin de poder modular las recomendaciones de abonado en fecha y cantidad.

- Caracterización de la uniformidad de las parcelas agrícolas, al objeto de avanzar en la valoración de su potencial productivo real y en la identificación de factores limitantes.

Las secuencias de imágenes y los modelos de estimación de cosecha anteriormente establecidos permitirán cuantificar el sistema de decisiones propuesto.

5. La descripción de los medios materiales, infraestructuras y equipamientos singulares a disposición del proyecto que permitan abordar la metodología propuesta.

El equipo que aborda esta propuesta aporta el equipamiento y el conocimiento necesarios para llevarlo a cabo en el período de tiempo previsto.

Parcelas en producción a disposición del proyecto

El diseño experimental necesario anteriormente mencionado requiere la puesta a disposición del proyecto de unas parcelas en producción de trigo en secano, para la realización de ensayos experimentales en ellas, además de información del itinerario técnico de años anteriores, para que junto con las series temporales de imágenes disponibles pueda extenderse el estudio de tal manera que recoja el impacto de la variabilidad meteorológica.

Se ha establecido un preacuerdo con los gestores de las explotaciones en términos de confidencialidad en el intercambio de la información, buena fe en cuanto a la información facilitada y a las orientaciones agronómicas que se pudieran efectuar, accesibilidad a las parcelas y medios puestos a disposición del proyecto. Constituir este grupo a los efectos de este proyecto no hubiera sido posible sin la experiencia y colaboración emprendida hace ya varios años en el marco del proyecto SIRIUS, que fue capaz de demostrar los beneficios de la innovación para ambas partes. La continuidad en el proyecto FATIMA permite mantener esta colaboración en un marco de transferencia tecnológico.

Materiales:

Imágenes de satélite

Como se ha mencionado se procesarán el conjunto de imágenes disponibles adquiridas por Landsat8 y SENTINEL2. Asimismo se utilizarán todas aquellas que ponga a disposición el Plan Nacional de Teledetección. Adicionalmente y como plan de contingencia se utilizarían también las imágenes Landsat7-ETM+, que se alternan con las de Landsat8. La resolución espacial de Landsat es de 30x30 m y la de SENTINEL2a es de 10 x 10 m. Adicionalmente, y como plan de contingencia se reserva una pequeña partida presupuestaria para la adquisición de imágenes de satélite de muy alta resolución espacial como WV-2 a efectos del análisis de la escala de observación e índices espectrales basados en bandas “red-edge”.

En la Universidad de Oviedo se dispone de un sistema de recepción de datos MODIS (satélites TERRA y AQUA) en tiempo real (<http://www.indurot.uniovi.es/actividad/modis>), con una antena de 2.4 m de diámetro, instrumentación científica asociada y software avanzado para su tratamiento. Servicios y productos MODIS en tiempo real creados por nuestro equipo de investigación, como el de alertas de incendios (<http://alertas.indurot.uniovi.es/inicio.php>) y el servidor WMS (<http://wms.indurot.uniovi.es/>), con diferentes productos operativos activos (NDVI, falso color RGB-721) y otros en desarrollo (temperatura superficial terrestre, vapor de agua, temperatura del aire, etc.).

Imágenes ya procesadas que se incorporan al proyecto:

Además de las imágenes que serán obtenidas y procesadas en tiempo real durante las campañas experimentales, se considera el uso de las imágenes históricas adquiridas por diferentes plataformas. Esto permitirá el análisis de los datos relativos a fertilización y cosecha que puedan recabarse de directamente de los agricultores. El archivo de imágenes de que se dispone en la actualidad incluye 250 imágenes Landsat desde el año 2005 hasta la actualidad, 77 imágenes Deimos 1 y 2 obtenidas entre febrero de 2010 y octubre de 2013 y 29 imágenes Formosat entre enero de 2011 y agosto de 2012.

El nivel de procesamiento de estas imágenes incluye el cálculo de las reflectividades y los valores de índices de vegetación con corrección atmosférica. Las imágenes se centran en la zona de estudio y se trata de una selección de imágenes libre de nubes en un alto porcentaje.

Imágenes de muy alta resolución espacial y espectral

En las parcelas experimentales se tiene previsto volar con un sistema de vuelo ligero (MUSAS) que lleva a bordo cámaras multispectrales, térmicas y fotogramétricas en fechas seleccionadas de interés, lo que permitirá estudiar el efecto de escala, ya que es posible obtener con este equipo una resolución submétrica. La Tabla 1 describe el equipamiento aeroportado.

Tabla 1.- Equipamiento aeroportado para ser usado sobre las parcelas “intensivas”, adicional a las imágenes de satélite

Sistema de vuelo: UAV, parapente motorizado y ultraligero	Magnitudes	Instrumentación
	temperatura (muy alta resolución 10-50 cm)	Flir SC-655 (Flir Systems)
	reflectancia y albedo muy alta resolución 10-50 cm)	Tetracam ADS II Lite Cámara cuatro canales MCA II Light Cámara hiperespectral 400- 1000 nm
	Arquitectura de la cubierta, levantamientos 3D	Cámara Canon MarkIII

Materiales: Equipamiento disponible: instrumentación, laboratorios, software y otros.

La tablas 2 y 3 describen el equipamiento disponible referido a instrumentación para medidas experimentales, laboratorios y trabajo de campo

Tabla2.- Equipamiento disponible para medidas en tierra

	Magnitudes	Instrumentación
Micrometeorológicas	Flujo de CO₂^{3 a} Calor sensible, H^{3 a} Calor latente, ET^{3 a}	Estación Covarianza de Torbellinos, anemómetro sónico & IRGA LI-7500 (Campbell) Incorpora eTermopares, TCAV (Campbell), Platos de flujo de calor, HFP01-SC (Hukseflux) y sondas de humedad
		Estación Razón de Bowen, Incorpora Analizador de gases LI-6252 (Campbell) Incorpora Termopares, TCAV (Campbell), Platos de flujo de calor, HFP01-SC (Hukseflux) y sondas de humedad
		Escintilómetro doble canal, BSL900 (SCINTEC)
	Radiación Neta, Rn^{3 a}	Radiómetro neto, CNR1 Net Radiometer (Kip Zonen)
	PAR, ^{3 a}	Sensor de PAR, SKP215 Quantum Sensor (Skye Instruments) Sensor de PAR, LI-190 Quantum Sensor (LI-COR) (para PAR ascendente)
Fisiológica	Temperatura de cubierta^{3 a}	Termómetros infrarrojo 4000.4ZL (Everest Interscience) y Apogee
	Potencial hídrico^{1-2 b}	Bomba Scholander, PMS (Sol-Franc)
	Fotosíntesis, Fluorescencia^{1-2 b}	Needle Chamber 6400-07, Leaf Chamber Fluorometer 6400-40 & LI-6400 (LI)
	Concentración de clorofila^{1-2 b}	Medidor de concentración de clorofila, SPAD-502 (Konica Minolta)
	Reflectividad^{1-2 b}	Espectroradiómetro ASD, HR4000 (Ocean Optics), GER 3700 (Geophysical and Environmental Research Corporation)
	APAR, fAPAR^{3 b} Fracción de cobertura^{3 b}, LAI ^{3,b}	Ceptómetro, SunScan SS1 (Delta-T Devices) (PAR transmitido), Cámara digital & Software de tratamiento digital de imágenes (ERDAS Image)
Suelo	Humedad del suelo^{2 a}	Sondas de humedad, EnviroSCAN (Sentek), sondas tipo TDR, CS-616 (Campbell Scientific)
	Flujo de CO₂ desde el suelo^{2 b}	Cámara de flujo de CO ₂ en Suelo LI-6400-09 & LI-6400 (LI-COR)

Escala de la medida	Intervalo temporal
(1) Escala de hoja	(a) Medida continua
(2) Escala de planta-suelo	(b) Muestreo
(3) Escala de cubierta	

Tabla 3.- Infraestructuras y laboratorios a disposición del proyecto

Laboratorio de análisis químicos: dispone del equipamiento necesario para análisis físico químicos de suelo, planta y agua, específicamente N. Presta apoyo a los servicios de fertilización y riego del ITAP
Finca experimental Las Tiesas: dispone de una superficie de 550 ha, de las que 100 ha se destinan a experimentación y el resto a cultivos.
Maquinaria específica para la ejecución de ensayos de campo: estufas, minicosechadora, maquinaria específica para determinación índice de cosecha, vehículos de transporte

Software a disposición del proyecto, necesario para su ejecución:

HIDROMORE®: Es un software que permite calcular la transpiración de forma distribuida espacial y temporalmente, aplicando el modelo FAO56 de balance de agua basado en imágenes de satélite (www.hidromore.es) y ha sido validado en anteriores trabajos. Va a permitir aplicar los modelos de crecimiento y estimar las demandas de agua y cosecha a grandes áreas.

SPIDER webSIG. Es una herramienta “open source” diseñada en el marco del proyecto europeo PLEIADesS acorde con la directiva INSPIRE y concebida para la difusión y análisis temporal on-line de información georreferenciada, como imágenes de satélite, mapas derivados y otras, y permite la descarga de la información georeferenciada en formato legible para la mayoría de los dispositivos que incorporan GPS. El grupo de agricultores participante tiene experiencia y formación en la utilización de la herramienta.

webSIG Agroasesor. Herramienta que incorpora el balance de N clásico en forma espacialmente distribuida. Permitirá incorporar los modelos basados en las secuencias temporales de imágenes. Desarrollado el prototipo en el proyecto LIFE-AGROASESOR.

Pix4D. Herramienta para generar ortoimágenes (fotogramétrica y multiespectral) a partir de un número elevado de fotografías.

6. Un cronograma claro y preciso de las fases e hitos previstos en relación con los objetivos planteados en la propuesta en su conjunto.

Actividades / Tareas	Responsable y	Primer año (*)	Segundo año (*)	Tercer año (*)
Actividad 1.-	<u>Alfonso Calera</u>			
Tarea 1.1.-	VB, LGG,	●●●●●●●●●●		
Tarea 1.2.-	VB, HLC; PC, JGP, FC	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	
Actividad 2.-	<u>Jose Gonzalez</u>			
Tarea 2.2	PC, MBM, IAA, JVC	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●
Tarea 2.2.-	PC, CRG, JFC	●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	
Tarea 2.3	PC, MLG, CRG, JFC	●●●●●	●●●●●●●●●●	
ACTIVIDAD 3.-	<u>Alfonso Calera</u>			
Tarea 3.1.-	JGR, PC, LGG	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●

Tarea 3.2.-	JVC, JRR, CN		●●●●●●●●●●	
Tarea 3.2.-	PC, JGR, CN, AO	●●●●●	●●●●●●●●●●	
ACTIVIDAD 4.-	<u>Alfonso Calera</u>			
Tarea 4.1.-	LGG, JGR	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●
Tarea 4.2.-	JGP, LGG, MV, ICR,	●●●●●●●●●●	●●●●	
Tarea 4.3.-	PC, VB, ICR, AO	●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●
ACTIVIDAD 5.-	<u>Horacio López</u>			
Tarea 5.1.-	ACB, PC, FC	●●●●●	●●●●●●●●●●	
Tarea 5.2.-	PC, VB, ACB, FC, AO	●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●
ACTIVIDAD 6.	<u>Horacio López</u>			
Tarea 6.1.	MV, VB, FC, ACB		●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●
Tarea 6.2	MV, VB, FC, ACB		●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●

7. Si se solicita ayuda para la **contratación de personal, justificación** de su necesidad y descripción de las tareas que vaya a desarrollar.

Se solicita ayuda para la contratación de un titulado superior/master a tiempo completo a lo largo de la duración del proyecto.

Con un perfil agronómico pero con experiencia en teledetección, dadas las dos disciplinas científicas que se aúnan en la propuesta, y dada la gran cantidad de tarea experimental y análisis previstos. El personal contratado, cuyo presupuesto se ha incluido dentro del proyecto, se requiere fundamentalmente para procesamiento de imágenes y derivación de parámetros biofísicos, trabajo de campo y manejo de la instrumentación

<i>Perfil del puesto</i>	<i>Descripción de tareas en las que colabora</i>
Titulado Superior con perfil agronómico y teledetección	Ejecución y seguimiento agronómico de las experiencias. Trabajo de campo: biomasa, contenido en N Recogida y preparación de datos históricos Implementación del modelo Aquacrop Elaboración de recomendaciones de agua y fertilización Procesado de imágenes de satélite y aeroportadas. Trabajo experimental de campo con instrumentación en tierra Implementación de modelos Análisis de datos y su comparación con medidas experimentales Elaboración de recomendaciones de agua y fertilización Implementación del prototipo de herramienta de diagnóstico

C.2. IMPACTO ESPERADO DE LOS RESULTADOS

El contenido de este apartado se solicitará también en la aplicación informática de solicitud (con un máximo de 3500 caracteres) y su contenido podrá ser publicado a efectos de difusión si el proyecto fuera financiado en esta convocatoria. Se recomienda incluir:

1. Descripción del **impacto científico-técnico social y/o económico** que se espera de los resultados del proyecto, tanto a nivel nacional como internacional.

La clave para mejorar la eficiencia productiva, mejorar el beneficio económico y reducir el impacto ambiental inherente a la actividad agraria radica en gran parte en la adecuación en el espacio y en el tiempo de los suministros de agua y nitrógeno a las demandas del cultivo. Pero para hacer uso eficaz de la maquinaria actualmente disponible y de la venidera, e implementar así la "agricultura de dosis variable" o agricultura de precisión, es necesario conocer las demandas del cultivo de forma precisa, lo que está muy por delante de la práctica agronómica habitual y ha llevado a un cierto estancamiento en su implementación.

La investigación que se propone puede ser un paso decisivo en la implementación masiva de esta agricultura de dosis variable, al proveer una herramienta de diagnóstico que permita conocer en el espacio y en el tiempo las demandas de agua y nitrógeno del cultivo, esto es la necesaria "inteligencia" para que bien mediante tecnología específica de dosis variable, bien adaptando los actuales sistemas de riego y fertilización, se apliquen en el sitio y momento oportuno las cuantías adecuadas de agua y nitrógeno para obtener un rendimiento óptimo.

Reducir el hueco entre la producción potencial y la efectivamente obtenida, mejorar el beneficio económico y reducir el impacto ambiental por un uso excesivo de agua y fertilizantes serían los impactos esperables del proyecto en los cultivos de cereal como el trigo y el maíz, centrales en la seguridad alimentaria y que representan una gran parte del consumo de agua y fertilizantes tanto en España, como en el resto del mundo. Los logros del proyecto tendrán pues un efecto multiplicador en todo el sector agrario y medioambiental.

El interés y actualidad del tema, el conocimiento previo que los grupos aportan, los planteamientos novedosos de integración de modelos de crecimiento y series temporales de imágenes, permiten también esperar una alta producción científica en las revistas más prestigiosas tanto en el campo de la agronomía y la teledetección, como en aquellas de ámbito más general.

2. El **plan de difusión** e internacionalización en su caso de los resultados.

Además de publicaciones académicas de alto nivel, el plan de difusión sigue un concepto multi-media y multi-canal, combinando artículos en revistas del sector agrario con una página web dinámica, folletos descriptivos, DVDs demo, videos en un canal dedicado en YouTube, diálogo con los medios de comunicación, jornadas divulgativas y presencia activa en congresos y ferias del sector, tanto en España como a nivel internacional. Todos los productos de difusión se publicarán en un mínimo de dos idiomas (castellano e inglés).

El equipo autor de la propuesta tiene excelentes contactos dentro y fuera de España tanto con grupos de investigación, transferencia de tecnología y organismos como FAO, y está involucrado en otros proyectos colaborativos a nivel europeo y mundial. La colaboración plasmada en la propuesta con el Robert B. Daugherty Water for Food Institute de la University of Nebraska, y el Laboratoire de Météorologie Dynamique (École Polytechnique de Paris Saclay) representa un elemento potencial de difusión internacional.

Como se ha mencionado anteriormente, el grupo de la UCLM que presenta la propuesta HERMANA, lidera el proyecto europeo H2020 denominado FATIMA, en el que participan 21 grupos de investigación de 8 países. La sinergia entre ambos proyectos puede ser importante y enriquecedora, asegurando el impacto de los resultados obtenidos en HERMANA en el ámbito internacional europeo.

3. Si se considera que puede haber **transferencia de resultados**, se deberán identificar los resultados potencialmente transferibles y detallar el plan previsto para la transferencia de los mismos.

El resultado transferible principal será la metodología y el procedimiento que la implementa que permite elaborar las recomendaciones de agua y fertilización nitrogenada para la cosecha esperable y, mediante la plataforma webSIG, permite hacerlas llegar al usuario en tiempo y forma oportunos.

Esta herramienta y el conocimiento requerido para su uso operativo sería puesta a disposición del Instituto Agronómico Provincial, ITAP, que presta los servicios de asesoramiento de riego y fertilización pues sus investigadores forman parte central del proyecto .

El plan de transferencia incluye licencias de uso del sistema a consultoras, empresas y servicios de extensión agraria. Unas específicas serían otorgadas a las empresas Agrisatlberia y CITAL que colaboran en el proyecto.

Además de los agricultores, comunidades de regantes y administración en su dimensión agraria y medioambiental se perfilan como usuarios finales de los productos aunque probablemente a escalas temporales y espaciales agregadas bien a la parcela, bien a un área más extensa.

C.3. CAPACIDAD FORMATIVA DEL EQUIPO SOLICITANTE

Este apartado solo se rellenará si se solicita la inclusión del proyecto en la convocatoria de “Contratos predoctorales para la formación de doctores”. Dicha inclusión solo será posible en un número limitado de los proyectos aprobados.

Para evaluar la capacidad formativa del equipo solicitante, se recomienda incluir:

1. El plan de formación previsto en el contexto del proyecto solicitado.

La propuesta, teniendo en cuenta su interés científico y carácter multidisciplinar, proporciona una excelente atmósfera para realizar la Tesis Doctoral. El plan de formación incluye trabajo experimental, análisis de datos, estancias en otros grupos en España y en el extranjero y plasmar todo ello en publicaciones y el propio documento de la tesis. El equipamiento científico de alto nivel y el trabajo experimental previsto proporcionarán una sólida formación y aprendizaje en este necesario aspecto. Las relaciones establecidas con grupos de investigación nacionales e internacionales aseguran estancias fructíferas para los estudiantes de doctorado en estos grupos al objeto de completar la formación requerida. La experiencia del grupo facilitará al estudiante de doctorado la publicación de sus resultados y análisis. La Sección de Teledetección y SIG de la UCLM proporciona la infraestructura adecuada y los recursos necesarios para el proceso de formación de los estudiantes de FPI, incluyendo la disponibilidad de los edificios, el acceso al equipamiento científico, informático, software, acceso a bases de datos científicos y recursos de la biblioteca.

2. Relación de tesis realizadas o en curso (últimos 10 años) con indicación del nombre del doctorando, el título de tesis y la fecha de obtención del grado de doctor o de la fecha prevista de lectura de tesis.

Doctorando: Mari Llanos López González; Título: *“Seguimiento del estrés hídrico en la vid mediante técnicas de fluorescencia de la clorofila y otros métodos ópticos”* Universidad de Castilla-La Mancha Directores: Alfonso Calera Belmonte; Ismael Moya. Fecha de lectura: Enero de 2015. Nota: Sobresaliente

Doctorando: Cecilia Martínez Beltrán; Título: *“Observación multiescala de la cubierta vegetal mediante Teledetección. Aplicación a Castilla La Mancha”* Universidad de Valencia. Directores: Alfonso Calera Belmonte; Joaquín Meliá Miralles. Fecha de lectura: Julio de 2014. Nota: Apto cum laude

Doctorando: Claudio Balbontín Nesvara. Título *“Seguimiento del estrés hídrico en el viñedo utilizando técnicas fisiológicas, micrometeorológicas y termometría infrarroja”*. Universidad de Castilla-la Mancha. Directores: Alfonso Calera Belmonte, Isidro Campos; Fecha de lectura: Diciembre de 2012; Nota: Sobresaliente cum laude

Doctorando: Isidro Campos Rodríguez. Título: *Evapotranspiración y balance de agua del viñedo mediante teledetección en el acuífero Mancha Oriental*. Universidad de Castilla-La Mancha. Directores: Alfonso Calera Belmonte, Jose González Piqueras. Fecha: 2012. Sobresaliente Cum Laude

Doctorando: Enrique A. Torres Prieto. Título: *El modelo FAO-56 asistido por satélite en la estimación de la evapotranspiración en un cultivo bajo estrés hídrico y en suelo desnudo*. Universidad: Universidad de Castilla-La Mancha. Directores: Alfonso Calera Belmonte, Eva Rubio Caballero. Fecha: 2010 Doctorado Europeo. Cum Laude.

Doctorando: Nilda Sánchez Martín. Título: *Teledetección óptica aplicada a un modelo distribuido de balance hídrico (HIDROMORE) para el cálculo de la evapotranspiración y humedad del suelo*. Universidad de Salamanca. Directores: Jose Martínez Fernández, Alfonso Calera Belmonte. Fecha: Septiembre de 2009. Cum Laude

Doctorando: Jose González Piqueras. Título: *Evapotranspiración de la Cubierta Vegetal mediante la determinación del coeficiente de cultivo por teledetección*. Universidad de Valencia. Directores: Alfonso Calera Belmonte, Maria Amparo Gilabert. Fecha: Septiembre de 2006. Doctorado Europeo: Sobresaliente cum Laude

Tesis en curso –para su lectura prevista durante los cursos 2015/2017

Doctorando: Julio Villodre Carrilero. Título: *Estimación mediante teledetección de la evolución del estrés hídrico en vegetación natural por medio de balances de agua y energía*. Universidad de Castilla La Mancha. Directores: Alfonso Calera Belmonte, Jose Gonzalez Piqueras. Fecha prevista: Inicio 2015.

Doctorando: Angel Marchante. Título: *Tecnologías de Teledetección, radiometría y fotogrametría aplicada al patrimonio*. Becario FPI UCLM - Universidad de Castilla La Mancha. Directores: Jorge Onrubia, Jose Gonzalez Piqueras. Fecha prevista: Año 2017.

Doctorando: Juan José Peón García. Título: *Identificación y seguimiento de sumideros de carbono orgánico en suelos afectados por incendios forestales en el suroccidente de Asturias usando imágenes de satélite y de sensores aerotransportados, datos de campo y laboratorio*. Universidad de Oviedo. Directoras: María Del Carmen Recondo González y Susana del Carmen Fernández Menéndez. Fecha prevista: Finales 2017.

3. Breve descripción del desarrollo científico o profesional de los doctores egresados del equipo de investigación.

Los doctores Jose Gonzalez-Piqueras y Nilda Sanchez son ahora profesores Titulares de las Universidades de Castilla La Mancha, y de la de Salamanca, respectivamente desarrollando una labor investigadora intensa.

El Dr. Enrique Torres estuvo inicialmente contratado en la Universidad de Castilla La Mancha y posteriormente ha alcanzado una posición permanente en la Universidad Nacional (Colombia), respectivamente.

El Dr. Isidro Campos, tras una primera etapa en la Universidad de Castilla La Mancha en el marco del proyecto CERESS ha sido contratado como Post.Doc. Researcher, Daugherty Water for Food Institute. University of Nebraska at Lincoln, Nebraska, USA.

El Dr. Claudio Balbontín se incorporó en un contrato de investigación en la Universidad de Talca (Chile) y posteriormente ha alcanzado una posición permanente Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA-Intihuasi) - Ministerio de Agricultura Colina San Joaquín s/n, La Serena. Región Coquimbo-Chile.

La Dra. Mari Llanos Lopez Gonzalez se encuentra incorporada en el LABORATOIRE DE MÉTÉOROLOGIE DYNAMIQUE en la Ecole Polytechnique - Université Paris Saclay, con un contrato Post-doctoral.

INSTRUCCIONES PARA RELLENAR LA MEMORIA CIENTÍFICO-TÉCNICA

AVISO IMPORTANTE

En virtud del artículo 11 de la convocatoria **NO SE ACEPTARÁN NI SERÁN SUBSANABLES MEMORIAS CIENTÍFICO-TÉCNICAS** que no se presenten en este formato.

Este documento está preparado para que pueda rellenarse en el formato establecido como obligatorio en las convocatorias (artículo 11.7.a): letra Times New Roman o Arial de un tamaño mínimo de 11 puntos; márgenes laterales de 2,5 cm; márgenes superior e inferior de 1,5 cm; y espaciado mínimo sencillo. La parte C (“Documento científico”) de la memoria deberá tener una extensión máxima de 20 páginas, incluidos todos sus apartados. No se admitirán memorias con contenidos propios de la parte C incluidos en las partes A o B.

La memoria consta de tres partes: la parte A contiene información general y básica de la propuesta; la parte B contiene la relación de los componentes del equipo de trabajo (excepto doctores) y la información específica sobre la financiación pública y privada del equipo de investigación; y la parte C es el documento científico propiamente dicho.

Con carácter general:

1. Las memorias pueden rellenarse en español o en inglés, a excepción de la parte A: RESUMEN DE LA PROPUESTA/SUMMARY OF THE PROPOSAL, que debe rellenarse en ambos idiomas.
2. Se recomienda rellenar la memoria empleando un ordenador con sistema operativo Windows y usando como procesador de textos MS Word (MS Office).
3. Una vez terminada la memoria en Word, deberá convertir el archivo en formato pdf (de no más de 4Mb) y aportarlo en la aplicación informática de solicitud del proyecto en el apartado Añadir documentos > Memoria científico-técnica.

Parte A: RESUMEN DE LA PROPUESTA/SUMMARY OF THE PROPOSAL

Toda la información de este apartado deberá también rellenarse en la aplicación de solicitud para que los campos puedan explotarse informáticamente, aunque se incluyen también en la memoria para facilitar las tareas de evaluación. Se aconseja que se utilice el *copiar y pegar* desde la memoria hasta la aplicación informática de solicitud o viceversa para que no haya inconsistencias en el contenido de los textos.

Todos los campos de este apartado deberán rellenarse obligatoriamente en inglés y en español.

El resumen de la propuesta/summary of the proposal (con un máximo de 3500 caracteres, contando los espacios en blanco) contendrá los aspectos más relevantes de la propuesta, así como los objetivos planteados y los resultados esperados. Su contenido podrá ser publicado a efectos de difusión si el proyecto fuera financiado en esta convocatoria, salvo que haya indicado expresamente en la aplicación de solicitud que existen resultados susceptibles de ser protegidos.

Parte B: INFORMACIÓN ESPECÍFICA DEL EQUIPO

B.1. RELACIÓN DE LAS PERSONAS NO DOCTORES QUE COMPONEN EL EQUIPO DE TRABAJO

No se relacionarán en este apartado los datos del personal perteneciente al equipo de investigación ni los datos de los doctores pertenecientes al equipo de trabajo, puesto que esas personas deberán incluirse en la aplicación informática de solicitud.

Deberán rellenarse los siguientes datos del personal perteneciente al equipo de trabajo, excepto los doctores, repitiendo la secuencia que se indica a continuación tantas veces cuantas se necesite. En los campos de titulación, tipo de contrato y duración del contrato deberá tachar o borrar las claves que no procedan.

1. Nombre y apellidos:

Titulación: licenciado/ingeniero/graduado/máster/formación profesional/otros (especificar)

Tipo de contrato: en formación/contratado/técnico/entidad extranjera/otros (especificar)

Duración del contrato: indefinido/temporal

B.2. FINANCIACIÓN PÚBLICA Y PRIVADA (PROYECTOS Y CONTRATOS DE I+D+I) DEL EQUIPO DE INVESTIGACIÓN

Deberá relacionar los proyectos y/o contratos de I+D+I en los que hayan participado los componentes del equipo de investigación y que hayan recibido financiación o que estén pendientes de resolución, en los últimos 8 años, en convocatorias de ámbito nacional, autonómico o internacional hasta un máximo de 10 proyectos y/o contratos. Si la relación fuera muy extensa, se recomienda seleccionar aquellos que estén más directamente relacionados con la propuesta que se presenta.

Deberán rellenarse los siguientes datos repitiendo la secuencia que se indica a continuación tantas veces como se necesite. En los campos de relación temática con el proyecto que se presenta y estado del proyecto o contrato deberá tachar o borrar las claves que no procedan:

1. Investigador del equipo de investigación que participa en el proyecto/contrato (nombre y apellidos):

Referencia del proyecto:

Título:

Investigador principal (nombre y apellidos):

Entidad financiadora:

Duración (fecha inicio - fecha fin, en formato DD/MM/AAAA):

Financiación recibida (en euros):

Relación temática con el proyecto que se presenta: mismo tema/está muy relacionado/está algo relacionado/sin relación

Estado del proyecto o contrato: concedido/pendiente de resolución

Parte C: DOCUMENTO CIENTÍFICO

La parte C de la memoria científico-técnica es la única que está limitada en cuanto a extensión. Los cuatro apartados de la parte C no podrán superar las 20 páginas, debiendo mantenerse además los márgenes, espaciado y tipo de letra establecidos en la convocatoria. Se recuerda que no se admitirán memorias con contenidos propios de la parte C incluidos en otras partes del documento. En su caso, los anexos, imágenes, tablas, fórmulas, etc. estarán incluidos en la parte C.

C.1. PROPUESTA CIENTÍFICA

Se recomienda incluir:

1. Los **antecedentes y estado actual** de los conocimientos científico-técnicos de la materia específica del proyecto, incluyendo, en su caso, los resultados previos del equipo de investigación y la relación, si la hubiera, entre el grupo solicitante y otros grupos de investigación nacionales y extranjeros.

Si el proyecto es continuación de otro previamente financiado, deben indicarse con claridad los objetivos y los resultados ya alcanzados de manera que sea posible evaluar el avance real que se propone en el nuevo proyecto. Si el proyecto aborda un tema nuevo, deben indicarse los antecedentes y contribuciones previas del equipo de investigación que justifiquen su capacidad para llevarlo a cabo.

2. La **hipótesis de partida** y los **objetivos generales** perseguidos, así como la **adecuación** del proyecto a la Estrategia Española de Ciencia y Tecnología y de Innovación y, en su caso, a Horizonte 2020 o a cualquier otra estrategia nacional o internacional de I+D+i.

Si la memoria se presenta a la convocatoria de RETOS, deberá identificarse el reto cuyo estudio se pretende abordar y la relevancia social o económica prevista.

3. Los **objetivos específicos**, enumerándolos brevemente, con claridad, precisión y de manera realista (acorde con la duración prevista del proyecto).

En los proyectos con dos investigadores principales, deberá indicarse expresamente de qué objetivos específicos se hará responsable cada uno de ellos.

4. El detalle de la **metodología** propuesta, incluyendo la viabilidad metodológica de las tareas. Si fuera necesario, también se incluirá una evaluación crítica de las posibles dificultades de un objetivo específico y un plan de contingencia para resolverlas.

5. La descripción de los **medios materiales, infraestructuras y equipamientos singulares** a disposición del proyecto que permitan abordar la metodología propuesta.

6. Un **cronograma** claro y preciso de las fases e hitos previstos en relación con los objetivos planteados en la propuesta.

7. Si se solicita ayuda para la **contratación de personal, justificación** de su necesidad y descripción de las tareas que vaya a desarrollar.

C.2. IMPACTO ESPERADO DE LOS RESULTADOS

El contenido de este apartado se solicitará también en la aplicación informática de solicitud (con un máximo de 3500 caracteres) y su contenido podrá ser publicado a efectos de difusión si el proyecto fuera financiado en esta convocatoria.

Se recomienda incluir:

1. Descripción del **impacto científico-técnico social y/o económico** que se espera de los resultados del proyecto, tanto a nivel nacional como internacional.

2. El **plan de difusión** e internacionalización en su caso de los resultados.

3. Si se considera que puede haber **transferencia de resultados**, se deberán identificar los resultados potencialmente transferibles y detallar el plan previsto para la transferencia de los mismos.

C.3. CAPACIDAD FORMATIVA DEL EQUIPO SOLICITANTE

Este apartado solo se rellenará si se solicita la inclusión del proyecto en la convocatoria de “Contratos predoctorales para la formación de doctores”. Dicha inclusión solo será posible en un número limitado de los proyectos aprobados.

Para evaluar la capacidad formativa del equipo solicitante, se recomienda incluir:

1. El **plan de formación previsto** en el contexto del proyecto solicitado.
2. **Relación de tesis realizadas o en curso** (últimos 10 años) con indicación del nombre del doctorando, el título de tesis y la fecha de obtención del grado de doctor o de la fecha prevista de lectura de tesis.
3. Breve **descripción del desarrollo científico o profesional de los doctores egresados** del equipo de investigación.

C.4. IMPLICACIONES ÉTICAS Y/O DE BIOSEGURIDAD

Este apartado solo se rellenará si en la aplicación electrónica de solicitud se contesta afirmativamente a alguno de los aspectos relacionados con implicaciones éticas y/o de bioseguridad allí recogidos.

Se recomienda incluir:

1. Una **descripción de los aspectos éticos** referidos a la investigación que se propone.
2. Una explicación de las **consideraciones, procedimientos o protocolos** a aplicar en cumplimiento de la normativa vigente, así como una descripción de las instalaciones y las preceptivas autorizaciones de las que se dispone para la ejecución del proyecto.